

논문 2010-47TC-4-10

스캔패턴 분석을 위한 레이더 수신신호 모델링

(Modeling of Received Radar Signals for Scan Pattern Analysis)

김 용 희*, 김 완 진*, 송 규 하**, 이 동 원**, 김 형 남***

(Yong Hee Kim, Wan Jin Kim, Kyu Ha Song, Dong Won Lee, and Hyung-Nam Kim)

요 약

주파수, 펄스폭, 펄스반복주기 등의 정보를 식별변수로 이용하는 기존의 레이더 식별 기법들은 현대전의 고밀도 다중 신호 환경에서 식별모호성이 발생하는 문제점을 가진다. 이러한 문제점을 극복하고 전자전 지원 시스템의 식별성능을 향상시키기 위해 레이더의 스캔패턴 정보를 활용하는 식별 기법에 관한 연구가 지속되고 있다. 이 과정에서 레이더 스캔패턴 정보와 다양한 수신환경을 반영하는 정확한 레이더 수신신호의 확보가 우선적으로 요구되나, 실제 전자전 환경에서 직접 수집하거나 모의 환경을 구성하여 획득하는 방법은 현실적으로 많은 어려움이 있다. 이를 위해 본 논문에서는 실제 전자전 지원 시스템에서 수신되는 레이더 신호의 세기가 결정되는 과정을 모델링한 후, 이를 토대로 다양한 운용변수와 수신환경을 고려한 레이더 수신신호 생성 기법을 제안한다. 그리고 대표적인 스캔패턴에 대해 레이더 수신신호를 생성한 후 수신 위치에 따른 신호의 특성을 자세하게 분석한다.

Abstract

In dense electronic warfare signal environments, the conventional radar identification methods based on the basic parameters such as frequency, pulse width, and pulse repetition interval are confronted by the problem of identification ambiguity. To overcome this critical problem, a new approach introducing scan pattern of radars has been presented. Researches on new identification methods, however, suffer from a practical problem that it is not easy to secure the many radar signals including various scan pattern information and operation parameters. This paper presents a modeling method of radar signals with which we can generate radar signals including various scan pattern types according to the parameters determining the variation pattern of received signal strength. In addition, with the radar signals generated by the proposed model we analyze their characteristics according to the location of an electronic warfare support (ES) system.

Keywords: electronic warfare support, radar scan pattern

I. 서 론

현대전의 양상이 전쟁의 조기 종결을 통한 인명 및 자원손실의 최소화로 변화됨에 따라, 적군의 지휘통제 및 통신 시스템 무력화와 아군의 작전 수행 능력 극대

화를 통해 전쟁의 주도권 선점을 보장할 수 있는 효율적인 전자전(electronic warfare, EW) 수행능력의 중요성이 크게 강조되고 있다. 전자전이란 공간상에 전파되는 전자파의 각종 군사적 응용을 총칭하는 용어로서, 크게 전자전 지원(electronic warfare support, ES)과 전자공격(electronic attack, EA), 그리고 전자방어(electronic protection, EP)의 3가지 분야로 구성된다. 이 중 전자전 지원은 적군이 의도적 또는 비의도적으로 방사하는 각종 전자파를 탐색 및 감청하여 식별하고, 방사원의 위치를 탐지하기 위해 취해지는 제반 활동을 의미한다. 이러한 전자전 지원 활동을 통해 수집된 정보는 전자전 수행 시 유연하고 효율적인 전략전술의 수

* 학생회원, *** 정회원, 부산대학교 전자전기공학과
(School of Electrical Engineering, Pusan National University)

** 정회원, 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)

※ 본 연구는 2008년 국방과학연구소의 “스캔 패턴 분석 오류 최소화”에 대한 연구용역으로 이루어졌음.
접수일자: 2009년11월11일, 수정완료일: 2010년4월13일

림과 신속하고 효과적인 대응책을 결정하는데 활용된다^[1]. 그러므로 우수한 전자전 지원 능력의 보유는 아군의 전자전 수행능력의 극대화를 넘어서 전쟁의 승패를 좌우하는 핵심적인 요소이다.

그러나 현대전에서는 장비의 첨단화에 따른 전자 장비 수의 급격한 증가와 이에 대응하기 위한 다양한 전자전 공격기법 및 대응책 개발로 인해 전파 수집환경이 크게 악화되어, 주파수(frequency), 펄스폭(pulse width, PW) 및 펄스반복주기(pulse repetition interval, PRI)와 같은 정보를 이용하는 기존의 레이더 식별 방법에서 식별모호성 문제가 발생되고 있다^[2~4]. 이러한 식별모호성 문제로 인한 ES 시스템의 레이더 식별 성능의 저하를 해결하기 위해, 기존의 식별변수 이외에 레이더의 스캔패턴 정보를 활용하는 레이더 식별 기법에 관한 연구가 진행되고 있다^[4~5]. ES 시스템에서 수신한 레이더 신호에 대해 스캔패턴 분석 및 식별 기법에 관한 연구를 수행하기 위해서는 레이더의 스캔패턴 종류와 다양한 운용변수 값의 변화를 반영하는 레이더 수신신호의 확보가 우선적으로 요구되나, 실제 운용 중인 레이더 수신신호를 수집하거나 모의 환경을 구성해 신호를 획득하는 방법은 현실적으로 많은 제약과 한계점을 가진다. 따라서 관련분야 연구의 활성화를 위한 효과적인 레이더 수신신호 생성 기법이 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서는 이러한 레이더 수신신호의 획득 문제를 해결하기 위해 실제 ES 시스템에서 레이더 수신신호의 세기가 결정되는 과정을 모델링하고, 이를 통해 레이더 스캔패턴 정보를 포함하는 레이더 수신신호를 생성하는 기법을 제안한다. 그리고 대표적인 스캔패턴 레이더의 수신신호를 ES 시스템의 위치를 변화하며 생성하고, 이를 스캔패턴에 따른 레이더 조준선의 움직임과 연관시켜 신호특성을 분석한 결과를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 레이더의 스캔패턴과 이로 인한 레이더 수신신호 세기의 변화를 설명한 후, III장에서 실제 ES 시스템에서 수신되는 레이더 신호의 세기가 결정되는 과정을 분석하고, 이를 토대로 스캔패턴 정보를 포함하는 레이더 수신신호를 생성하는 기법을 제안한다. IV장에서는 제안된 레이더 수신신호 생성 기법을 검증하기 위해 스캔패턴별로 다양한 레이더 수신신호를 생성하고 ES 시스템의 위치에 따른 신호특성을 분석하며, 마지막 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 레이더 스캔패턴에 의한 ES 수신신호의 특성

스캔패턴을 포함하는 레이더 수신신호를 모델링하기 위해서는 우선 일반적인 ES 시스템에서 수신신호 처리과정을 이해하고, 수신된 신호와 스캔패턴이 어떠한 관련성을 가지고 있는지 살펴보아야 한다. 이를 위해 본 절에서는 우선 일반적인 ES 시스템의 신호처리 과정에 대해 간략하게 살펴본 후 레이더 스캔패턴을 정의하고, 스캔패턴 분석 시 요구되는 신호의 형태에 대해 설명한다.

1. ES 시스템의 신호처리 과정

ES 시스템은 공간상에 전파되는 전자파 신호를 탐지하여 식별한 후, 전자전 수행 및 기타 전술활동에 요구되는 정보를 아군의 EA 및 EP 시스템에 제공하는 역할을 수행한다. 수집된 적 전자파 신호로부터 필요한 정보를 추출하기 위해 ES 시스템에서 이루어지는 신호처리 과정은 크게 신호수신, 신호측정, 신호분리 및 신호특성 분석, 식별단계로 구성되며, 각 단계의 역할에 대해 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

ES 시스템의 전방향 광대역 수신기에 수신되는 전자파 신호는 그림 1과 같이 레이더의 사용주파수로 변조된 펄스열로 구성된다. ES 시스템은 이러한 수신신호로부터 펄스단위로 펄스도착시간(time of arrival, TOA), 펄스폭, 펄스세기(pulse amplitude, PA) 및 주파수 등과 같은 정보를 측정한다. 그러나 현대의 고밀도 신호 환경에서는 다수의 레이더로부터 송신된 전자파 신호가 혼재되어 ES 시스템에서 수신/측정된다. 즉, 수집된 펄스열에는 다수의 레이더로부터 수신된 펄스열이 함께 존재하고 있다. 여기에서 각 레이더 수신신호에 대한 분석을 수행하기 위해서는 혼재된 펄스열로부터 각 레

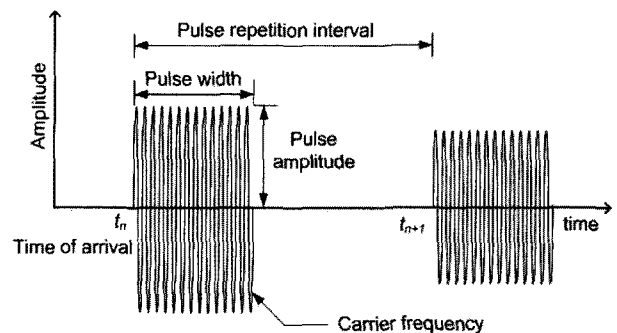


그림 1. ES 시스템에 수신된 레이더 신호
Fig. 1. The received radar signals in an ES system.

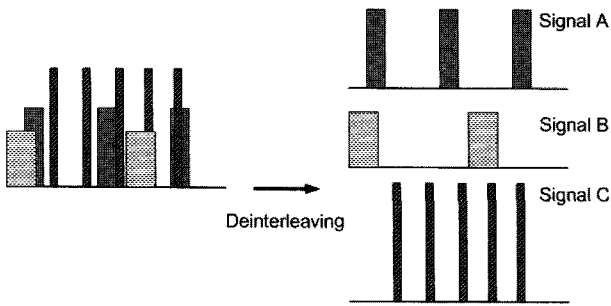


그림 2. 레이더 펄스열의 분리 과정
Fig. 2. Deinterleaving of the radar pulse stream.

이더에 해당하는 펄스열만을 분리해야 하므로, 그림 2와 같은 디인터리빙 과정이 수행된다. 신호특성 분석 과정에서는 분리된 펄스열들이 가지고 있는 레이더의 고유한 특성정보들을 추정하며, 식별단계에서는 각 펄스열로부터 분석 및 추정된 정보들을 레이더 식별 라이브러리 내의 정보들과 비교하여 하나의 레이더로 식별하게 된다^[2~4]. 그러나 현대 전자전 환경에 운용되는 전자장비들의 펄스폭, 주파수 및 펄스반복주기 등의 정보가 상호 중첩되는 경우가 빈번히 발생하여 식별과정에서 특정 레이더 수신신호에 대해 분석된 결과가 다수의 레이더로 식별되는 모호성이 발생하고 있다. 이러한 식별모호성 문제를 해결하기 위해서는 새로운 식별변수로서 레이더 스캔패턴 정보가 필요하다.

2. 레이더 스캔패턴과 ES 수신신호 세기의 변화

레이더는 표적을 향해 전자파를 방사하고 반사되어 돌아오는 신호를 분석하여 표적의 존재유무를 파악한 후, 표적의 위치와 거리를 산출해내는 장비이다. 일반적으로 레이더 시스템에서는 표적의 탐지해상도 증가와 탐지거리 확대를 위해 방사되는 신호 전력의 대부분을

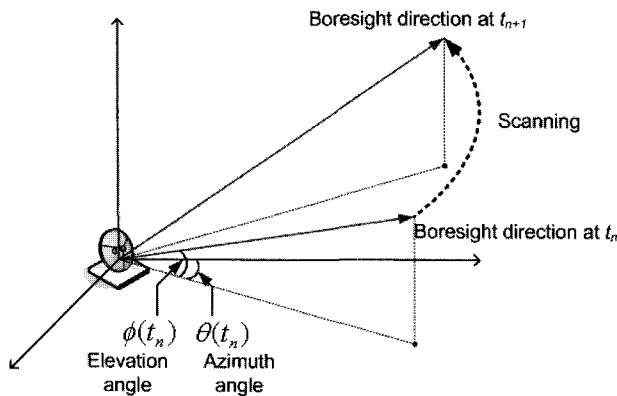


그림 3. 레이더 조준선의 움직임
Fig. 3. The movement of a radar boresight.

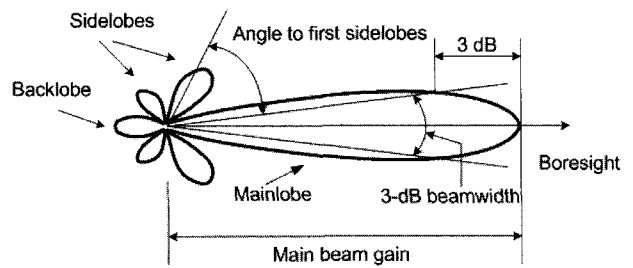


그림 4. 지향성 안테나의 일반적인 방사패턴
Fig. 4. General radiation pattern of a directional antenna.

레이더의 조준선(boresight)에 집중하여 공간상에 조사하는데, 이 경우 탐지영역(scan coverage)이 크게 제한되는 문제가 있다. 따라서 레이더 운용 시에는 지정된 영역을 탐색하기 위해 그림 3과 같이 시간에 따라 레이더의 송신 방향각을 조정하여 탐지활동을 수행하는데, 이러한 레이더 송신 방향각의 지속적인 움직임을 스캐닝(scanning)이라 하고, 스캐닝에 의해 나타나는 규칙적인 패턴을 스캔패턴(scan pattern)이라 정의한다^[6~9]. 레이더는 운용목적과 환경에 따라 탐색방법이나 범위가 다양하므로, 주어진 조건 하에서 레이더 탐지성능을 최대화하기 위해 정형화된 스캔패턴들이 사용된다. 따라서 특정 레이더의 고유한 운용특성에 의해 결정되는 스캔패턴 정보는 ES 시스템에서 발생될 수 있는 레이더 식별모호성의 최소화에 기여할 수 있는 식별인자로 활용될 수 있다.

일반적인 지향성 송신 안테나의 방사패턴(radiation pattern)은 그림 4와 같이 송신전력의 대부분이 주엽(mainlobe) 부근에 집중적으로 분포하며 레이더 조준선의 방향으로 최대 크기의 송신전력을 방사한다^[10~11]. 그러므로 레이더의 조준선이 ES 시스템을 통과하는 순간에 레이더 수신신호의 세기가 최대가 되며, 조준선이 ES 시스템을 통과한 후에는 방사패턴 부엽(sidelobe)의 형태와 분포에 따라 레이더 수신신호 세기의 변화패턴이 결정된다. 만약 레이더가 무지향성 송신 안테나를 통하여 전방향으로 동일한 세기의 레이더 신호를 방사하거나 추적 스캔패턴 레이더가 표적을 완벽히 포착하여 조준선이 표적과 일직선상에 유지된다면, 매 펄스도 착시간마다 ES 시스템에 수신되는 레이더 신호는 모두 동일한 세기로 측정되게 된다.

3. 스캔패턴 분석에 요구되는 수신신호의 형태

ES 시스템에서 수신되는 신호를 이용해 해당 레이더

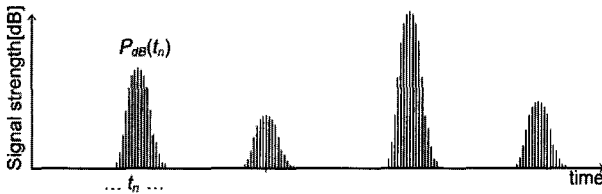


그림 5. 스캔패턴 분석을 위한 레이더 수신신호의 예
Fig. 5. An example of the received radar signal for scan pattern analysis.

스캔패턴을 추정하기 위해서는, 그림 5와 같이 매 펄스 반복주기마다 수신되는 신호의 세기를 측정하고 변화 추이를 관찰해야 한다. 따라서 특정 스캔 레이더에 의해, 매 펄스반복주기마다 ES 시스템에 수신되는 레이더 신호의 세기를 정의함으로써 해당 스캔패턴을 포함하는 수신신호를 생성할 수 있다. 펄스도착시간 t_n 에서 레이더 수신신호의 침투전압과 잡음성분을 각각 $A(t_n)$ 과 $n(t_n)$ 이라 하면, 검출된 펄스세기 $s(t_n)$ 은 다음과 같다.

$$s(t_n) = A(t_n) + n(t_n) \quad (1)$$

일반적으로 ES 시스템에서는 넓은 동적범위(dynamic range)를 보장하기 위해 검출된 수신신호 세기를 다음과 같이 로그스케일로 변환하여 사용한다^[4~5].

$$P_{dB}(t_n) = 20 \log \left\{ \frac{s(t_n)}{\sqrt{2}} \right\} \quad (2)$$

즉, 스캔패턴의 식별은 식(2)와 같은 수신신호 세기의 변화패턴 분석을 통해 이루어지므로, 본 논문에서는 펄스폭이나 변조주파수 등의 펄스 내 정보의 모델링 과정은 생략하고 그림 5와 같이 $P_{ab}(t_n)$ 을 스캔패턴 종류와 주요 운용변수에 따라 직접 생성하는 기법을 제안한다.

III. 레이더 수신신호 모델링 기법

레이더의 스캔패턴 정보를 포함하는 신뢰도 높은 레이더 수신신호를 생성하기 위해서는 실제 수신신호 세기가 결정되는 과정에 대한 정확한 모델링과 분석이 우선적으로 요구된다. 그러므로 본 장에서는 레이더의 스캔패턴에 따라 수신신호의 세기가 결정되는 과정을 모델링하고, 이와 관련된 주요 요소들을 정의한 후 이들을 모두 반영하여 최종 레이더 수신신호 모델링 기법을 제안한다.

1. 레이더 수신신호 세기의 결정과정 모델링

레이더 스캔패턴에 따라 ES 시스템에 수신되는 신호

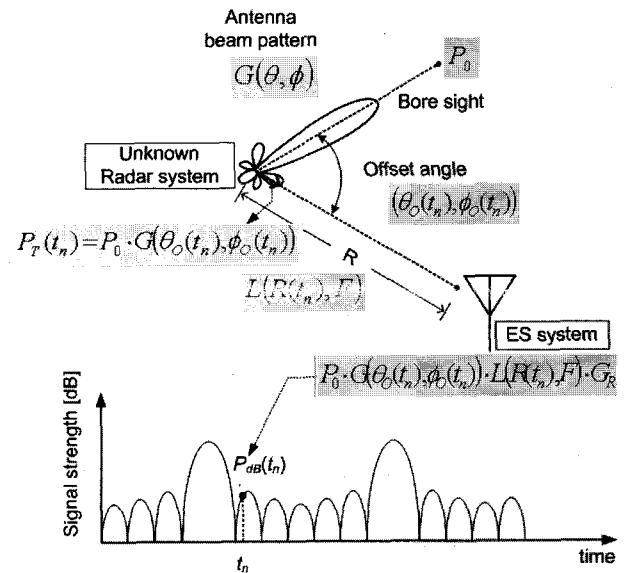


그림 6. 레이더 수신신호의 세기 모델
Fig. 6. Model of the received radar signal strength.

를 모델링하기 위해서는, 우선 수신신호 세기를 결정하는 파라미터들을 파악하고 파라미터들 간의 연관 관계를 명확히 분석해야 한다. 일반적으로 수신신호 세기는 레이더로부터 방사되는 전력의 세기, 송신 안테나 이득, 자유공간 전파손실(free-space propagation loss) 및 수신 안테나 이득으로 표현되는데^[6], 이 때 조준선과 ES 시스템이 수직선상에 있음을 가정하고 있으므로 스캔패턴 모델링에 곧바로 적용할 수 없다. 스캔패턴 정보를 포함하는 수신신호를 모델링하기 위해서는 레이더와 ES 시스템간의 상대적인 위치에 따른 수신신호 세기의 변화를 고려해야 하므로, 본 논문에서는 이를 반영하여 그림 6과 같은 모델을 제안하였다. 제안된 모델에서는 최대 송신신호 세기를 기준으로 레이더의 송신 안테나가 ES 시스템이 위치하는 방향으로 방사하는 송신신호 세기를 계산한 후, 자유공간을 전파하여 ES 시스템에 수신되는 과정에서 발생하는 손실치를 반영하여 최종적으로 ES 시스템에 수신되는 신호의 세기를 결정한다. 이 과정을 단계별로 자세히 살펴보면 다음과 같다.

조준선 방향으로 방사되는 송신전력과 송신 안테나 이득의 곱을 레이더의 최대 송신신호 세기 P_0 라고 할 때, ES 시스템이 위치하는 방향으로 실질적으로 방사되는 송신신호 세기 P_T 를 결정하기 위해서는 그림 6에서 나타난 것처럼 레이더 송신 안테나의 방사패턴 $G(\theta, \phi)$ 및 조준선과 ES 시스템이 이루는 오프셋 각(offset angle) 정보 (θ_0, ϕ_0) 가 요구된다. 레이더 송신 안테나의 방사패턴 $G(\theta, \phi)$ 는 조준선 방향으로 방사되는 최대 송신신호 세

기 P_0 를 기준으로 했을 때 방위각이 θ 이고 고도각이 ϕ 인 방향으로 방사되는 신호세기의 비율을 의미하며, 오프셋 각 (θ_o, ϕ_o) 는 레이더 조준선의 방향각 (θ_B, ϕ_B) 와 ES 시스템의 위치를 좌표로 표현했을 때의 방향각 (θ_E, ϕ_E) 사이의 차이로 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} (\theta_o, \phi_o) &= (\theta_E, \phi_E) - (\theta_B, \phi_B) \\ &= (\theta_E - \theta_B, \phi_E - \phi_B) \end{aligned} \quad (3)$$

즉, 레이더에서 ES 시스템을 향하여 방사되는 유효 송신 신호 세기 P_T 는 $P_0 \cdot G(\theta_o, \phi_o)$ 와 같이 정의되며, 스캔패턴의 종류에 따른 레이더 조준선 방향의 변화와 ES 시스템을 탑재한 플랫폼의 이동을 고려하면 식 (3)은 아래와 같이 시간에 따라 변화하는 함수로 새롭게 정의된다.

$$(\theta_o(t_n), \phi_o(t_n)) = (\theta_E(t_n), \phi_E(t_n)) - (\theta_B(t_n), \phi_B(t_n)) \quad (4)$$

식 (4)에 의해 특정 시간 t_n 에 레이더가 ES 시스템 방향으로 방사하는 송신신호 세기 $P_T(t_n)$ 은 $P_0 \cdot G(\theta_o(t_n), \phi_o(t_n))$ 으로 표현되며 레이더의 고유한 스캔패턴에 의해 오프셋 각이 매 시각 변화하므로, 이에 따라 $P_T(t_n)$ 의 방사 패턴도 변화한다. $P_T(t_n)$ 의 세기로 ES 시스템 방향으로 방사된 레이더 수신신호는 자유공간 전파손실만큼 감소되어 ES 시스템에 수신되게 되며, 이 때 ES 수신신호 세기 $P(t_n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} P(t_n) &= P_T(t_n) \cdot L(R(t_n), F) \cdot G_R \\ &= P_0 \cdot G(\theta_o(t_n), \phi_o(t_n)) \cdot L(R(t_n), F) \cdot G_R \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 G_R 은 ES 시스템의 수신 이득이며, $L(R(t_n), F)$ 는 자유공간 전파손실을 의미한다. 이때 자유공간 전파손실은 ES 시스템과 레이더 간의 거리 $R(t_n)$ 과 사용주파수 F 에 의해 그 값이 결정되며, 식 (5)를 로그스케일로 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{dB}(t_n) &= P_{0dB} + G_{dB}(\theta_o(t_n), \phi_o(t_n)) + L_{dB}(R(t_n), F) + G_{RdB} \end{aligned} \quad (6)$$

ES 시스템을 탑재한 플랫폼이 이동하는 경우에 레이더와의 거리가 충분히 멀리 떨어져 있다면, 시간에 따른 거리의 변화 $R(t_n)$ 에 의한 자유공간 전파손실 $L(R(t_n), F)$ 의 변화가 미미하므로 상수로 근사할 수 있다. 그러므로 식 (6)과 같이 레이더 수신신호 세기에 나타나는 $L(R(t_n), F)$ 는 $P_{dB}(t_n)$ 의 변화패턴에는 영향을 주지 않는다고 가정할 수 있다. 따라서 제안된 모델에서 ES 시스템에 수신

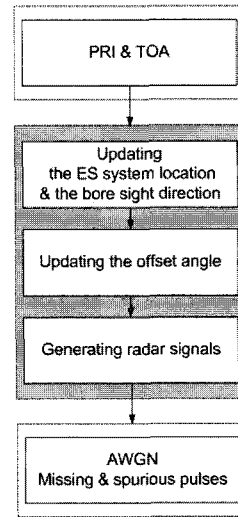


그림 7. 제안된 레이더 수신신호 생성 기법의 블록도
Fig. 7. The block diagram of the proposed radar signal generation method.

되는 신호세기는 시간에 따른 오프셋 각 변화에 의한 P_T 에 의해 결정된다고 할 수 있다. 오프셋 각의 변화는 레이더의 스캔패턴의 종류에 의해 결정되므로, ES 수신신호 세기의 변화패턴을 분석하여 특정 레이더의 스캔패턴 종류를 추정할 수 있다.

2. 제안된 레이더 수신신호 생성 기법

본 절에서는 제안된 ES 수신신호 세기 결정 모델을 바탕으로 다양한 스캔패턴에 따른 레이더 수신신호를 생성하는 기법을 제안한다. III-1 절에서 설명한 바와 같이 레이더의 스캔패턴 정보는 매 펄스도착시간마다 로그스케일로 측정된 수신신호 세기의 변화에 포함되어 있으므로, 제안하는 레이더 수신신호 생성 기법은 그림 7과 같이 레이더 수신신호가 ES 시스템에 수신되는 순간을 의미하는 펄스도착시간을 결정하는 부분과 수신신호 세기를 결정하는 부분, 그리고 실제 전자전 환경에서 발생하는 왜곡요소들을 반영하기 위한 부분으로 구성하였다.

레이더 수신신호를 t_1 에서 t_N 동안 수집한다고 할 때, n 번째 펄스도착시간 t_n 은 펄스반복주기 변조방식에 따라 결정되는 펄스간격 $p(t_n)$ 에 의하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$t_n = t_{n-1} + p(t_n) \quad n = 1, \dots, N \quad (7)$$

펄스도착시간 t_n 이 결정되면 그 순간 레이더 조준선의 방향이 초기에 설정된 스캔패턴의 종류와 운용변수 값

에 따라 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} B(\theta_B(t_n), \phi_B(t_n)) \\ = B(\theta_B(t_{n-1}) + \Delta\theta_B(t_n), \\ \phi_B(t_{n-1}) + \Delta\phi_B(t_n)) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $B(\theta_B(t_n), \phi_B(t_n))$ 은 t_n 일 때의 조준선의 위치를 나타내며, $\Delta\theta_B(t_n)$ 과 $\Delta\phi_B(t_n)$ 은 각각 스캐닝에 따른 조준선의 방위각과 고도각 변이를 의미한다. 또한 시간에 따라 이동하는 ES 시스템의 위치는 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} E(\theta_E(t_n), \phi_E(t_n), R(t_n)) \\ = E(\theta_E(t_{n-1}) + \Delta\theta_E(t_n), \\ \phi_E(t_{n-1}) + \Delta\phi_E(t_n), R(t_{n-1}) + \Delta R(t_n)) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $E(\theta_E(t_n), \phi_E(t_n), R(t_n))$ 은 t_n 일 때의 ES 시스템의 위치를 나타내며, $\Delta\theta_E(t_n)$, $\Delta\phi_E(t_n)$ 과 $\Delta R(t_n)$ 은 각각 ES 탑재 플랫폼의 이동에 따른 방위각, 고도각 및 레이더와 ES 시스템간의 거리의 변화를 의미한다. $R(t_n)$ 은 레이더의 위치를 원점에 두었을 때 ES 시스템의 거리를 의미하므로 레이더 조준선의 이동에 의한 오프셋 각 변화와는 무관하나, ES 시스템 이동에 따른 거리 변화로 인해 수신신호 세기가 변화를 반영하기 위해 고려하였다. 식 (8)과 (9)를 통하여 펄스도착시간 t_n 에서 레이더 조준선의 방향각과 ES 시스템의 위치각이 결정되면, 조준선과 ES 시스템 사이의 오프셋 각은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} O(\theta_o(t_n), \phi_o(t_n), R(t_n)) \\ = E(\theta_E(t_n), \phi_E(t_n), R(t_n)) - B(\theta_B(t_n), \phi_B(t_n)) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 오프셋 각 $O(\theta_o(t_n), \phi_o(t_n), R(t_n))$ 의 방위각 및 고도각은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{cases} \theta_o(t_n) = \theta_E(t_n) - \theta_B(t_n) \\ \phi_o(t_n) = \phi_E(t_n) - \phi_B(t_n) \end{cases} \quad (11)$$

식 (11)과 같이 오프셋 각이 결정되면 식 (6)을 이용하여 ES 시스템에서 수신되는 신호의 세기를 결정하고, 이 과정을 신호 수집 시간동안 반복하여 특정 스캔패턴 정보를 포함하는 레이더 수신신호를 생성한다.

위의 과정을 통해 생성된 레이더 수신신호는 이상적인 전자전 신호 환경을 가정하여 생성된 신호이므로, 실제 전자전 환경 하에서 수집되는 신호와는 차이가 있을 수 있다. 따라서 제안된 기법을 통해 생성된 신호를

표 1. 탐색 스캔패턴별 주요변수

Table 1. The important simulation parameters for each search scan pattern.

스캔패턴 종류	스캔 주기 [s]	스캔영역		원추 스캔주기 [s]
		방위각	고도각	
원형	1	-	-	-
양방향 섹터	1	0°, 120°	-	-
6단 라스터	2	0°, 120°	0°, 5°	-
4단 헬리컬	2	-	0°, 10°	-
팔머 양방향 섹터	1	0°, 120°	-	0.01
6단 팔머 라스터	2	0°, 120°	0°, 5°	0.01

표 2. 추적 스캔패턴별 주요변수

Table 2. The important simulation parameters for each tracking scan pattern.

스캔패턴 종류	스캔 주기[s]	로브 지속시간 [ms]	원추 스캔주기[s]
원추	0.025	-	0.03
로브스위칭	0.02	5	-
전자로브스위칭	-	5	-

보다 실제 신호에 근접하게 만들기 위해서는, ES 시스템에서의 신호수신 및 측정과정에 발생하는 왜곡요소들을 고려해야 한다. 이를 위해 제안된 레이더 수신신호 모델링 기법에서는 펄스단위로 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 계산하여 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white gaussian noise, AWGN)을 반영하였으며, 신호측정 및 디인터리빙 과정에서 발생할 수 있는 누락펄스(missing pulse)와 불요펄스(spurious pulse)를 전체 수집 펄스 개수를 기준으로 추가하였다.

IV. 모의실험 및 고찰

본 장에서는 제안된 레이더 수신신호 모델링 기법을 통해 대표적인 레이더 스캔패턴 신호를 다양한 운용변수에 대해 생성하고, 생성된 신호들을 분석하여 각 스캔패턴들의 주요 특징을 살펴본다. 원형(circular), 양방향 섹터 (bi-directional sector), 라스터(raster), 헬리컬(helical), 팔머 양방향 섹터 (palmer bi-directional sector), 팔머 라스터(palmer raster)와 같은 탐색 스캔패턴과 원추 (conical), 로브스위칭(lobe switching), 전자로브스위칭(electronic lobe switching)의 추적 스캔패턴에 의한 레이더 수신신호를 모의실험을 통해 생성하

였으며, 스캔패턴별로 사용한 주요변수는 각각 표 1, 표 2와 같다.

1. 탐색 스캔패턴 레이더 수신신호

가. 원형 및 헬리컬 스캔 레이더 수신신호의 특성

원형 스캔패턴은 넓은 고도각 빔폭(elevation beamwidth)과 좁은 방위각 빔폭(azimuth beamwidth) 특성의 팬빔(fan beam) 방사패턴을 가지는 송신 안테나의 조준선을 방위각 방향으로 360° 회전하면서 공간을 스캔한다. 헬리컬 스캔패턴은 고도각과 방위각 빔폭이 모두 좁은 펜슬빔(pencil beam) 방사패턴을 가지는 송신 안테나의 조준선을 고도각 방향으로는 일정한 기울기를 가지고 연속적으로 상승시키면서 동시에 방위각 방향으로는 360° 여러 번 회전시켜 공간을 스캔한다. 그러므로 운용 중인 두 스캔패턴 레이더를 위에서 관찰하면 그림 8과 같이 동일한 형태의 조준선 이동 패턴을 보인다.

원형 스캔 레이더의 조준선이 시계방향으로 회전하면서 공간을 스캐닝할 때 ES 시스템의 방위각 θ 가 각각 20°와 50°인 A, B 두 지점에서 레이더 수신신호를 생성하면 각각 그림 9의 (a), (b)와 같다. 이 두 신호를 비교해 보면 전체 포락선(envelope)의 형태는 동일하나 시간지연(time delay)이 발생함을 관찰할 수 있는데, 이는 ES 시스템의 위치에 따라 레이더 조준선이 ES 시스템을 처음 통과하기까지 소요되는 시간 $T_E(\theta)$ 가 서로 다르기 때문이다. ES 시스템의 방위각과 스캔 주기가 각각 θ 와 T_S 로 주어지면 $T_E(\theta)$ 는 다음과 같이 정의되며

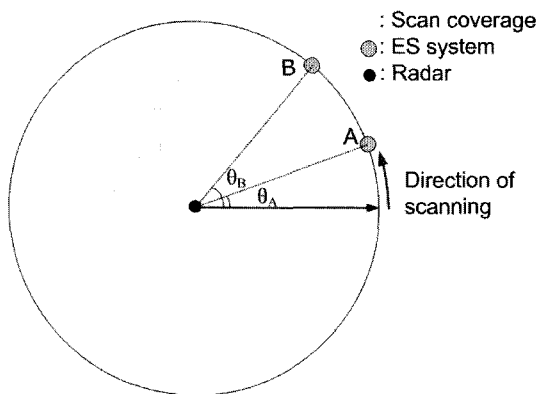


그림 8. 원형 및 헬리컬 스캔 레이더의 조준선 이동
Fig. 8. The boresight movement of circular and helical scan radars.

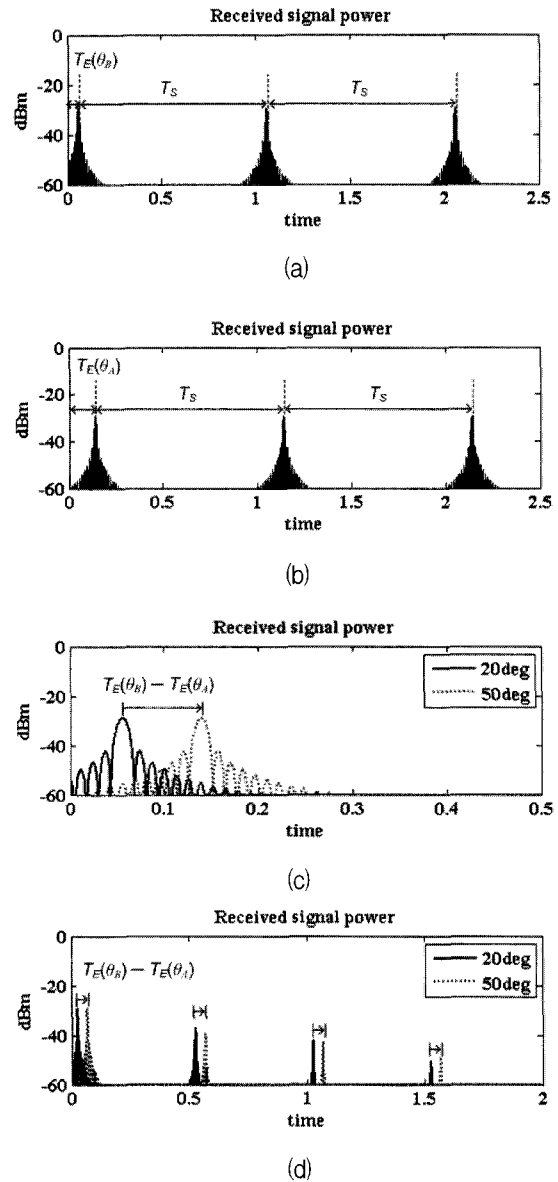


그림 9. 원형 및 4단 헬리컬 스캔 레이더 수신신호
(a) $\theta=20^\circ$ 일 때의 원형 스캔 레이더 수신신호,
(b) $\theta=50^\circ$ 일 때의 원형 스캔 레이더 수신신호,
(c) ES 시스템의 위치에 따른 원형 스캔 레이더 수신신호 비교, (d) ES 시스템의 위치에 따른 4 단 헬리컬 스캔 레이더 수신신호

Fig. 9. Received signals of a circular and a 4-bar helical scan radar: (a) Received circular scan radar signal at $\theta=20^\circ$, (b) Received circular scan radar signal at $\theta=50^\circ$, (c) Comparison of two circular scan radar signals according to the location of an ES system, (d) Received signals of two 4-bar helical scan radars according to the location of an ES system.

$$T_E(\theta) = \frac{\theta}{2\pi} T_S \tag{12}$$

그림 9의 (c)에서 A, B 두 지점에서의 수신시간 차 T_D 는 다음과 같이 계산된다.

$$T_D = T_E(\theta_B) - T_E(\theta_A) \quad (13)$$

또한 원형 스캔 레이더는 조준선이 방위각 360° 를 한번 회전할 때마다 ES 시스템을 주기적으로 통과하므로, 생성된 레이더 수신신호는 스캔주기 T_S 마다 주엽이 주기적으로 존재하며, n 번째 주엽의 위치는 다음과 같다.

$$m(n) = \left(n + \frac{\theta}{2\pi} \right) T_S \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

이와 같이 원형 스캔 레이더 수신신호의 경우 동일한 고도각 좌표에서는 ES 시스템의 위치와 상관없이 동일한 수신신호 패턴을 얻을 수 있는 특징이 있고, 수신신호에서 주엽의 반복주기를 이용할 경우 스캔주기도 쉽게 추정해 낼 수 있다.

헬리컬 스캔 레이더는 스캔주기 내에서 조준선이 방위각 방향으로 여러 번 360° 회전하므로 원형 스캔 레이더와는 달리 한 스캔주기 내에 다수의 주엽이 존재하며, 고도각 방향으로 일정한 기울기를 가지는 조준선의 상승운동으로 인해 조준선과 ES 시스템의 고도각 차이가 지속적으로 증가하게 된다. 따라서 헬리컬 스캔 레이더는 한 스캔주기 내 주엽들의 크기가 순차적으로 감소하는 특징을 보이며, 이러한 특성은 그림 9의 (d)에서 확인할 수 있다.

나. 양방향 섹터 및 라스터 스캔 레이더 수신신호의 특성

양방향 섹터 스캔패턴은 원형 스캔패턴과 동일하게 펜빔을 사용하나, 조준선을 360° 방위각 전 방향으로 회전하며 공간을 스캔하는 원형 스캔패턴과는 달리 특정 스캔영역 내에서 조준선이 왕복운동을 하며 공간을 스캔한다. 따라서 양방향 섹터 스캔패턴에서는 스캔영역 내의 ES 시스템의 위치에 따라 주엽 간의 간격이 달라지는 특징을 보인다. 예를 들어 그림 10에서와 같이 ES 시스템이 스캔영역 내의 A에 위치한다고 가정하면, 조준선이 스캔 시작지점과 A 사이인 θ_{A1} 을 왕복할 때는 스캔 종료지점과 A 사이인 θ_{A2} 를 왕복운동 할 때보다 짧은 거리를 이동하게 되므로 주엽간의 간격이 짧게 나타나게 된다. 반대로 조준선이 θ_{A2} 를 이동하는 경우에는 θ_{A1} 에 비해 이동거리가 길기 때문에, 주엽간의 간격이 넓게 나타나게 되는데, 이렇게 한 스캔주기 내에서 주엽간의 간격이 변하는 것이 양방향 섹터 스캔패턴의

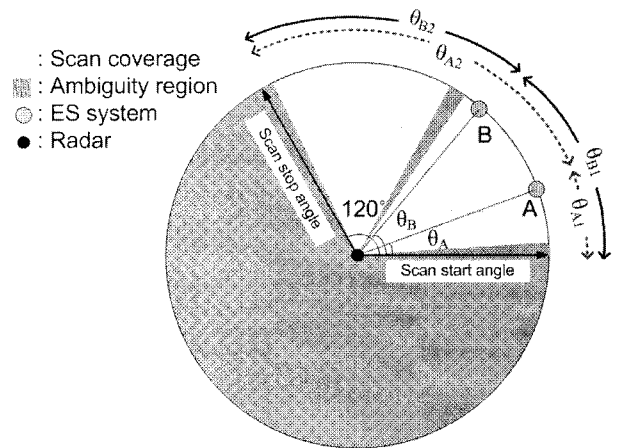
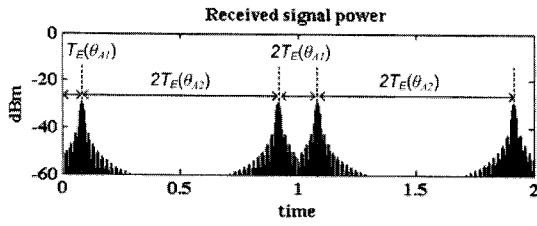


그림 10. 양방향 섹터 및 라스터 스캔 레이더의 조준선 이동
Fig. 10. The boresight movement of sector and raster scan radars.

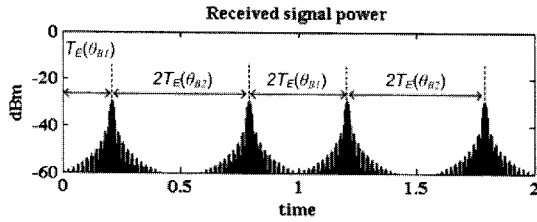
주요 특징이다.

라스터 스캔 레이더는 고도각 방향의 해상도 (resolution)를 보장하기 위해 사용되며, 펜슬빔 형태의 방사패턴을 이용해 다수의 단방향 섹터 스캔패턴이 중첩된 형태로 레이더 조준선을 움직인다. 이 때 일정한 기울기를 가지고 고도각 방향으로 연속적으로 상승하는 헬리컬 스캔패턴과는 달리, 레이더의 조준선이 스캔 종료각이나 시작각에 도달하게 되면 특정 고도각만큼 순간적으로 천이한다. 라스터 스캔 레이더는 헬리컬 스캔 레이더와 마찬가지로 고도각이 변화하므로 한 스캔주기 내에서 주엽의 크기가 감소하는 양상을 보이며, ES 시스템의 수신위치에 따라 양방향 섹터 스캔 레이더와 같이 주엽의 간격이 짧게 나타나는 특징이 있다.

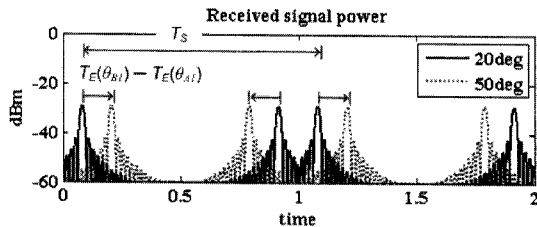
그림 11은 ES 시스템의 방위각이 20° 와 50° 일 때 모의실험을 통해 생성한 양방향 섹터 스캔 레이더와 라스터 스캔 레이더 수신신호를 나타내고 있으며, 그림에서 $T_E(\theta_{A1})$, $T_E(\theta_{A2})$, $T_E(\theta_{B1})$ 그리고 $T_E(\theta_{B2})$ 는 각각 안테나 조준선이 θ_{A1} , θ_{A2} , θ_{B1} , 그리고 θ_{B2} 를 이동하는데 걸리는 시간을 의미한다. 그림 11의 (a)와 (b)는 각각 ES 시스템의 방위각이 20° 와 50° 일 때의 수신신호를 나타내고 있으며, 앞에서 설명한 바와 같이 조준선이 시작점에서 출발하여 θ_{A1} 을 지나 θ_{A2} 를 통과할 때는 주엽 간의 시간차가 $2T_E(\theta_{A2})$ 로 길어졌다가 다시 θ_{A1} 을 왕복할 때는 주엽간의 시간차가 $2T_E(\theta_{A1})$ 으로 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. 그림 11의 (c)는 ES 시스템의 위치 변화에 따른 수신신호의 차이를 비교하기 위해 (a)와 (b)의 결과를 함께 나타낸 것이다. 각 주엽들 사이의



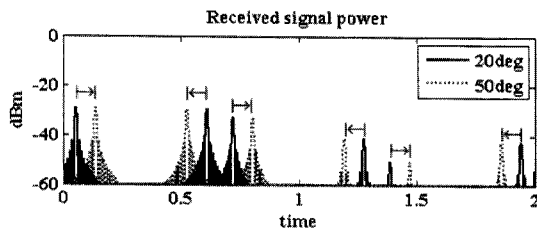
(a)



(b)



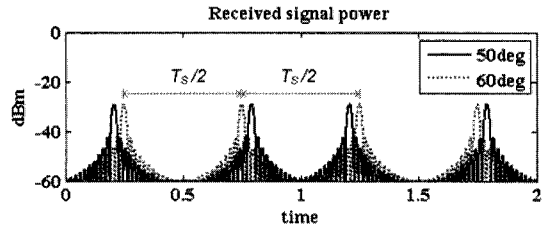
(c)



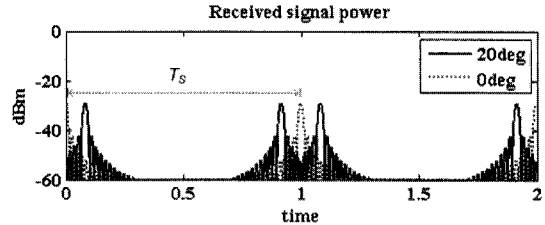
(d)

그림 11. 양방향 섹터 및 6단 라스터 스캔 레이더 수신 신호 (a) $\theta=20^\circ$ 일 때의 양방향 섹터 스캔 레이더 수신 신호, (b) $\theta=50^\circ$ 일 때의 양방향 섹터 스캔 레이더 수신 신호, (c) ES 시스템의 위치에 따른 양방향 섹터 스캔 레이더 수신 신호 비교, (d) ES 시스템의 위치에 따른 6단 라스터 스캔 레이더 수신 신호

Fig. 11. Received signals of a bi-directional sector and a 6-bar raster scan radar (a) Received bi-directional sector scan radar signal at $\theta=20^\circ$, (b) Received bi-directional sector scan radar signal at $\theta=50^\circ$, (c) Comparison of two bi-directional sector scan radar signals according to the location of an ES system, (d) Comparison of two 6-bar raster scan radars according to the location of an ES system.



(a)



(b)

그림 12. 식별모호 영역에서의 레이더 수신신호 특성 (a) 스캔영역의 중앙에서의 레이더 수신신호, (b) 스캔영역 경계에서의 레이더 수신신호

Fig. 12. Characteristics of received radar signals in ambiguity region (a) Received radar signal at the center of the scan coverage, (b) Received radar signal at the boundary of the scan coverage.

간격에는 변화가 없고 전체 주엽들이 동일하게 시간지연되는 원형 및 헬리컬 스캔 레이더와는 달리 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호는 주엽들의 위치 변화가 각각 다르게 변화하여 레이더 수신신호의 포락선의 형태가 ES 시스템의 위치에 따라 크게 변화함을 관찰할 수 있다. 그러나 스캔영역 내에서 ES 시스템의 위치에 따라 $T_E(\theta_{A1})$ 과 $T_E(\theta_{A2})$ 의 비율이 변해 전체 신호의 포락선 형태는 달라진다고 하더라도, 스캔영역의 범위가 같다면 스캔 주기는 항상 다음 식을 만족한다.

$$T_S = 2(T_E(\theta_{A1}) + T_E(\theta_{A2})) \quad (15)$$

그림 11의 (d)는 ES 시스템의 방위각이 20° 와 50° 일 때의 6단 라스터 스캔 레이더에 의한 수신신호를 나타내며, 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호와 유사한 특성이 나타남을 확인할 수 있다.

ES 시스템의 위치에 따른 레이더 수신신호의 포락선의 형태 변화 외에 양방향 섹터 및 라스터 스캔패턴의 중요한 특징은 식별모호 영역(ambiguity region)이 존재한다는 점이다. 식별모호 영역은 그림 10에 도시된 바와 같이 양방향 섹터 및 라스터 스캔영역의 중앙부근과 외부에 위치하며, 이곳에 ES 시스템이 존재할 경우 수신된 레이더 신호는 각각 원형과 헬리컬 스캔패턴에

의한 레이더 수신신호와 그 형태적 특성이 유사하여 이들에 대한 스캔패턴 식별이 어렵게 된다. ES 시스템이 스캔영역의 중앙에 존재하면 θ_{A1} 과 θ_{A2} 의 크기가 전체 스캔영역 크기의 1/2값으로 동일하게 되므로, $T_E(\theta_{A1})$ 과 $T_E(\theta_{A2})$ 역시 원래의 스캔주기 T_S 의 1/2 값으로 서로 동일한 값을 가진다. 이로 인해 그림 12의 (a)와 같이 생성된 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호의 주엽간의 간격이 같아지며, 스캔주기는 1/2로 줄어드는 것처럼 보이게 된다. 또한 ES 시스템이 스캔영역의 외부에 존재하게 되면 레이더의 조준선이 ES 시스템을 통과하는 경우가 존재하지 않게 되어 θ_{A1} 과 θ_{A2} 중에 하나가 0값을 가지는 경우로 설명될 수 있는데, 이 때 생성된

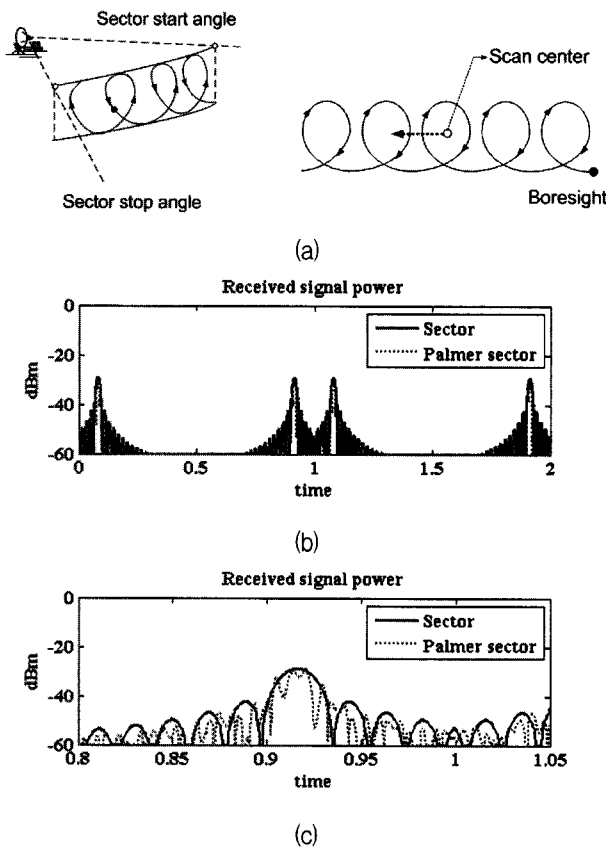


그림 13. 팔머 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호 (a) 조준선의 움직임 (b) 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호와와의 포락선 비교 (c) 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호와와의 포락선 확대 비교
Fig. 13. Received signals of palmer bi-directional sector scan radar (a) The boresight movement, (b) Comparison of the envelopes with received signal of bi-directional sector scan radar, (c) Enlarged comparison of envelopes between the received signals of a bi-directional sector and a palmer bi-directional sector scan radar.

레이더 수신신호는 그림 12의 (b)와 같이 스캔주기는 그대로 유지되면서 주엽간의 간격이 동일한 형태가 된다. 앞에서 언급한 두 가지 경우는 수신신호의 특성이 원형 및 헬리컬 스캔 레이더 수신신호의 특성과 매우 유사하여 스캔패턴을 식별해 내기가 어려우므로, 양방향 섹터 및 라스터 스캔패턴에 대해서는 ES 시스템의 위치에 따라 식별모호 영역이 발생할을 스캔패턴 분석 시 고려하여야 한다.

다. 팔머 스캔 계열 레이더 수신신호의 특성

팔머 스캔패턴의 스캔 중심점 이동은 원형, 양방향 섹터, 라스터 및 헬리컬 스캔패턴과 동일하나, 이 스캔

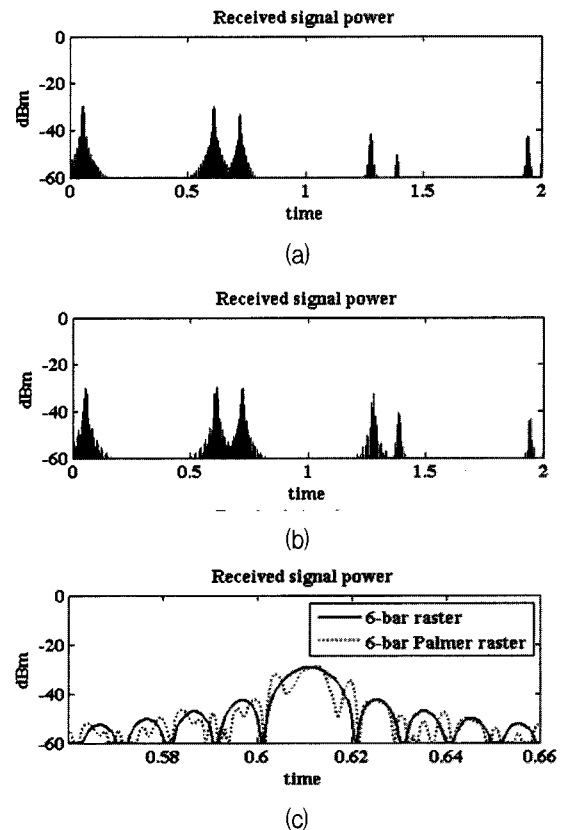


그림 14. 6단 팔머 라스터 스캔 레이더 수신신호 (a) 6단 라스터 스캔 레이더 수신신호, (b) 6단 팔머 라스터 스캔 레이더 수신신호, (c) 라스터 및 팔머 라스터 스캔 레이더 수신신호의 세부 형태 비교
Fig. 14. Received signals of 6-bar Palmer raster scan radar signals (a) 6-bar raster scan radar signal, (b) 6-bar Palmer raster scan radar signal, (c) Enlarged comparison of envelopes between the received signals of a 6-bar raster and 6-bar palmer raster scan radar.

중심점을 기준으로 레이더의 조준선이 원추 스캔패턴 방식으로 움직이는 차이점이 있다.

그림 13의 (a)는 팔머 양방향 섹터 스캔 레이더의 조준선과 스캔 중심점이 이동하는 방법에 관한 예시이며, (b)와 이 때 생성된 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호와 팔머 양방향 섹터 스캔 레이더 수신신호를 비교한 그림이다. 그림 13의 (b)에서 보듯이 두 스캔패턴은 스캔 중심점의 움직임이 동일하므로 신호의 전체적인 포락선 형태가 유사함을 관찰할 수 있다. 그러나 그림 13의 (b)를 확대한 그림 13의 (c)에서 보는 바와 같이 팔머 양방향 섹터 스캔패턴의 경우에는 원추 스캔 특성으로 인해 양방향 섹터 스캔패턴보다 신호변화가 복잡함을 확인할 수 있다. 그림 14는 6단 팔머 라스터와 6단 라스터 스캔 레이더 수신신호를 비교한 것으로, 그림 14의 (a)와 (b)에서는 보듯이 두 신호의 포락선의 전체적인 형태는 서로 유사함을 알 수 있다. 그러나 그림 14의 (c)에서 보듯이 신호의 세부 특성을 확대하여 자세히 살펴보면 팔머 양방향 섹터와 양방향 섹터 스캔패턴의 경우와 마찬가지로 포락선의 변화 형태가 서로 확연히 구별됨을 알 수 있다. 이러한 레이더 수신신호의 특성은 본 모의실험 결과에서는 생략된 팔머 원형 및 팔머 헬리컬 스캔패턴에서도 동일하게 나타난다.

2. 추적 스캔패턴 레이더 수신신호

특정 표적물을 지속적으로 추적하며 조준하는 추적 스캔패턴의 특성으로 인해 추적 스캔패턴 레이더는 탐색 스캔패턴에 비해 매우 협소한 스캔영역을 가지며 조준선의 움직임이 스캔패턴의 종류에 따라 매우 독특하게 정의된다. 그림 15는 모의신호 생성을 통해 얻은 주요 추적 스캔패턴 레이더 수신신호로서 주엽과 부엽의 주기적인 조합으로 구성되었던 탐색 스캔패턴 레이더 수신신호와 다른 변화 형태를 가짐을 알 수 있다.

원추 스캔 레이더의 조준선은 스캔 중심점을 기준으로 등각속도로 회전하므로, 그림 15의 (a)와 같이 정현파 형태를 가지며, 목표물을 포착하여 정확하게 ES 시스템이 탑재된 플랫폼을 조준할 경우 수신신호 세기가 거의 일정하게 유지되는 정상(steady) 상태의 신호로 변하게 된다. 로브스위칭 스캔 레이더의 조준선은 특정 4지점을 순차적으로 번갈아가며 특정 목표물이 스캔 중심점에 위치하도록 스캔방향을 조정한다. 이 때 한 지점에서 특정 시간동안 조준선이 고정되므로, 그림 15의 (b)와 같이 4개의 서로 다른 신호세기를 갖는 형태로

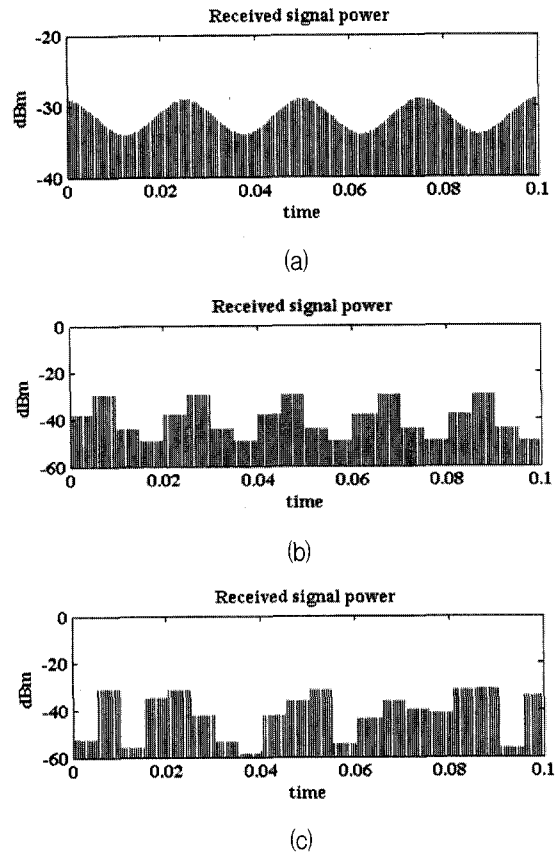


그림 15. 추적 스캔 레이더 수신신호 (a) 원추 스캔 레이더 수신신호 (b)로브스위칭 스캔 레이더 수신신호 (c) 전자로브스위칭 스캔 레이더 수신신호
Fig. 15. Tracking scan radar signals (a) Received conical scan radar signal, (b) Received lobe switching scan radar signal, (c) Received electronic lobe switching scan radar signal.

ES 시스템에 수신된다. 전자로브스위칭 스캔패턴은 로브스위칭 스캔패턴과 달리 레이더의 조준선이 좁은 스캔영역에 내에서 불규칙하게 이동함에 따라 수신신호 세기는 그림 15의 (c)와 같이 불규칙한 신호세기 형태를 가지게 된다.

VI. 결 론

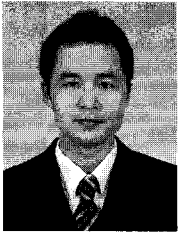
최신 전자장비의 증가로 인해 전자전 환경이 점점 복잡해지고 고밀도화 되어 감에 따라, ES 시스템에서는 이들 각 장비를 식별하는 과정에서 모호성이 빈번하게 발생하고 있다. ES 시스템에서의 식별모호성 해결을 위한 새로운 스캔패턴 분석을 개발하기 위해서는 먼저 분석대상 스캔 레이더 수신신호를 정확히 모델링하여 실제 ES 시스템에서와 거의 동일한 레이더 수신신호를

모의 생성할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 실제 전자전 환경에서 ES 시스템에 수신되는 레이더 수신신호의 세기가 결정되는 과정을 모델링하고 이를 토대로 스캔패턴의 종류와 운용변수 값에 따라 다양한 레이더 수신신호를 생성할 수 있는 기법을 제안하였다. 또한 주요 스캔패턴에 대해 ES 시스템의 위치를 변화 하면서 레이더 수신신호를 생성하고 이를 스캔패턴에 따른 조준선의 움직임 특성과 연관시켜 분석함으로써 스캔패턴별 레이더 수신신호의 주요 특성을 고찰하였다. 제안된 레이더 수신신호 모델링 기법은 향후 전자전 모의 상황을 고려한 다양한 레이더 수신신호 분석 알고리즘 개발에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Anthony E. Spezio, "Electronic Warfare Systems," *IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 3, pp. 633-644, March 2002.
- [2] C. L. Davies and P. Holland, "Automatic processing for ESM," *IEEE Proc. F, Comm. Radar and Signal Process*, vol. 129, pp. 164-177, 1982.
- [3] J. Roe, S. Cussons, and A. Feltham, "Knowledge-based signals processing for radar ESM systems," *IEEE Proc. F, Commun. Radar and Signal Process*, vol. 129, pp. 293-301, 1990.
- [4] 류영진, 하현주, 김환우, "원형스캔 레이더 식별을 위한 스캔변수 추정기법," *전자공학회 논문지*, 제 6호, 605-612쪽, 2006년 11월.
- [5] 류영진, 김환우, "레이더의 원형 스캔에 따른 ES 탐지손실 분석," *전자공학회 논문지*, 제 6호, 929-936쪽, 2005년 11월.
- [6] David L. Adamy, *Introduction to Electronic Warfare Modeling and Simulation*, Artech House, 2003.
- [7] David L. Adamy, *EW 101: First Course in Electronic Warfare*, Artech House, 2001.
- [8] Richard G. Wiley, *Electronic Intelligence : The Analysis of Radar Signals*, Artech House, 1993.
- [9] Skolnik, Merrill I, *Radar Handbook*, McGraw-Hill, 2007.
- [10] Skolnik, Merrill I, *Introduction to radar system*, McGraw-Hill, 2007.
- [11] Bassem R. Mhafza, Atef Z. Elsherbeni, *MATLAB simulations for Radar Systems Design*, CHAMPMAN & HALL/CRC, 2004.

저 자 소 개



김 용 희(학생회원)
2007년 부산대학교 전자전기정보
컴퓨터공학부 학사 졸업.
2009년 부산대학교 전자전기
공학과 석사 졸업.
2009년~현재 부산대학교
전자전기공학과 박사과정.

<주관심분야 : 통신 및 신호처리, 레이더 및 소나
시스템, 생체신호처리, 디지털통신>



이 동 원(정회원)
1989년 전북대학교 전산학과
학사 졸업.
1991년 전북대학교 전산학과
석사 졸업.
1991년~현재 국방과학연구소
선임 연구원.

2007년~현재 충남대학교 컴퓨터공학과
박사과정.

<주관심분야 : 데이터마이닝, 신호처리, 임베디드
시스템>



김 완 진(정회원)
2005년 부산대학교 전자전기통신
공학부 학사 졸업.
2007년 부산대학교 전자공학과
석사 졸업.
2007년~현재 부산대학교 전자전
기공학과 박사과정.

<주관심분야 : 적응신호처리, 레이더 및 소나시스
템, 디지털통신, RFID, OFDM>



김 형 남(정회원)-교신저자
1993년 포항공과대학교 전자전기
공학과 학사 졸업.
1995년 포항공과대학교 전자전기
공학과 석사 졸업.
2000년 포항공과대학교 전자전기
공학과 박사 졸업.

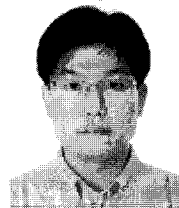
2000년 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부
박사후 연구원.

2003년 한국전자통신연구원 무선방송연구소
선임 연구원.

2007년 부산대학교 전자공학과 조교수.

2007년~현재 부산대학교 전자전기공학과
부교수.

<주관심분야 : 적응신호처리, 레이더 및 소나시스
템, 생체신호처리, 디지털TV, 디지털통신, OFDM
시스템, RFID, 멀티미디어 시스템>



송 규 하(정회원)
1996년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업.
1998년 포항공과대학교 전자전기
공학과 석사 졸업.
1998년~현재 국방과학연구소
선임 연구원.

<주관심분야 : 통신 및 신호처리>