

# 귀환 추적게이트 필터링에 의한 ECM 체계 반응시간 단축 방법에 관한 연구

A Study on the Reaction Time Reduction Method for the ECM System by using the Feed-back Tracking-gate Filtering

김 소 연\*

Kim, So-Yeon

## ABSTRACT

Usually, a tracking-gate of the tracker is used to track the target radar signal in the active ECM system. In this paper, we propose the feed-back tracking-gate filtering method.

The designed method applies a tracking-gate of the tacker to the ECM system's receiver as a rejection or pass filter selected by the receiver's purpose, and the specific target signals can be passed or rejected though this tracking-gate filter. Thus, the number of input signals within the receiver's search band is minimized owing to this filter except the target signals. In conclusion, the EW equipment's reaction time can be reduced and the error value about the target signals can be lower than the previous methods'.

주요기술용어(주제어) : ECM(Electronic counter measure : 전자방해책), Pulse Tracking(펄스추적), Feed-back(귀환), Tracking-gate(추적게이트), EW(Electronic warfare : 전자전), Reaction Time(반응시간)

## 1. 머리말

레이더는 공격하여 오는 적 항공기를 조기에 탐지 및 격퇴하기 위하여 개발되어 비약적인 발전을 거듭하여 왔다. 이에 대한 대항책으로 전자전이라는 새로운 군사용어가 생겨나게 됐으며 현대전에서는 최신의 전자전 장비가 전쟁의 승패를 가늠하는 중요한 요소로 부각되고 있다. 전자전은 크게 적의 전자파 사용 효과를 무력화 시키는 전자 방해책(ECM), 적의 전자파방해에 대처하고 아군의 전파이용을 확보하기 위한

전자방해 방어책(ECCM), 그리고 전자전 정보획득을 위한 전자전 지원책(ESM)으로 나뉜다<sup>[1]</sup>. 탐재장비가 전력원을 이용하여 직접 전자파를 방사할 경우는 능동 ECM, 채프 또는 유인체를 통해 전자파를 방사할 경우는 수동 ECM 체계로 구분한다.

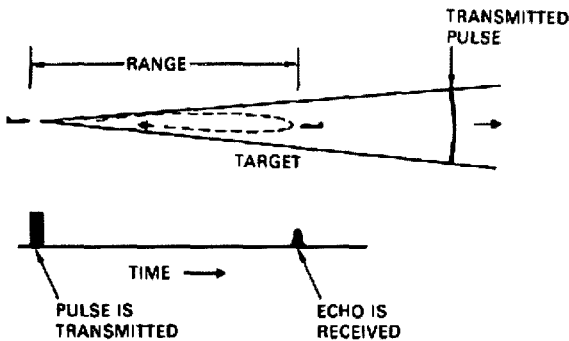
레이더가 표적의 위치를 식별하는 원리는 그림 1과 같다<sup>[2]</sup>. 레이더 전송이 펄스일 때, 표적의 거리( $R$ )는 레이더 신호 방사시점부터 표적에서 반향 되는 예코 신호수신 시까지 걸린 시간( $\tau$ )을 측정함으로써 식 (1)과 같이 쉽게 얻을 수 있다. 여기서  $c$ 는 전파의 속도이다.

$$R = \frac{c\tau}{2} \quad (1)$$

† 2006년 3월 23일 접수~2006년 5월 17일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : comet613@add.re.kr



[그림 1] 레이더의 표적위치 식별

일반적인 추적 레이더는 원하는 표적을 얻기 위해서 수신기의 거리축상에 게이트를 설치하고 필요한 신호만을 통과시킨다. 게이트의 최외위치는 레이더 운용자나 최초 표적을 탐지하는 탐지레이더의 지정에 의해 설정되며, 다음 위치는 추적레이더에 의해서 자동적으로 표적 주위에 설정된다<sup>[3]</sup>.

능동 ECM 체계에서 신호 수신기는 탐색대역 내의 다수개의 신호를 계속 수신해가며, 신규위협이 출현여부(신규탐지) 및 이미 수신되어 재밍중인 기존위협이 존재유무(Look-Thru)를 살펴 위협조우 상황에 맞는 대응(재밍할당 또는 재밍삭제 등)을 하여야 한다. 이를 위해 특정신호만을 추적, 수신하는 추적기를 수신기와 분리하여 설계한다. ECM 체계를 통제하는 디지털신호처리는 수신기에 수신된 다수의 위협신호 특성을 분석하여 재밍을 위해 지속적인 신호 추적이 필요한 경우에만 해당 표적정보를 추적기에 전달하여 지속적인 신호추적이 이루어 질수 있도록 제어한다(그림 2 참조).

본 연구에서는 기존 능동 ECM 체계에서 적 레이더 신호에 대한 동기 재밍을 위해 펄스 추적용으로만 이용해 오던 추적게이트를 수신기의 신호수신 목적(Look-Thru/신규탐지)에 따라, 입력신호에 대해 통과(Pass) 또는 제거(Rejection) 용도로 수신기에 귀환(Feed-back) 적용시키는 방법에 관해 연구하였다. 제안된 방법은 수신기내 신호유입량을 현저히 감소시켜, 신규신호가 유입된 뒤 분석. 식별과정을 거쳐 재밍출력시까지 소요되는 시간(반응시간)을 단축시킬 수 있다. 또한, 추적게이트를 이용한 부산물로써<sup>[4]</sup>, 잡음을 비롯한 불필요한 신호 유입을 감소시켜 표적신호

에 대한 신호식별 오인식율을 감소시킬 수 있다.

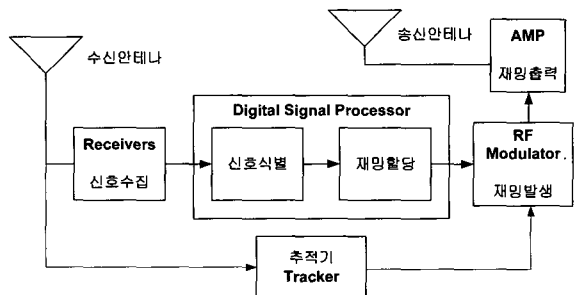
2장에서는 연구의 배경이 된 능동 ECM 체계의 신호식별 및 재밍개념에 대해서 살펴보고, 3장에서는 구체적인 귀환 추적게이트 필터링 기법 설계과정을 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 설계된 기법을 검증하고, 기존방법과의 비교. 분석을 수행한다. 시뮬레이션을 위해서는 Matlab 7.0 Simulink를 적용하였다.

## 2. ECM 체계의 신호 식별 및 재밍 개념

그림 2는 일반적인 구조의 능동 ECM 체계의 개략적인 블록도를 보여준다<sup>[5]</sup>.

ECM 체계의 수신기는 적 레이더 위협이 존재할 것이라 예상되는 주파수대역을 정해진 탐색대역 순서(이하 '탐색시퀀스')로 탐색해가며, 신호를 수집한다. 수신기에서 수집된 신호는 표적신호 식별을 위한 디지털신호처리 절차를 거친 후, 재밍대상 위협의 경우에는 미리 정해진 재밍기법이 할당되고, RF 모듈레이터에 의해 재밍신호가 생성된 후 증폭기를 통해 고출력의 재밍신호가 발생된다.

디지털신호처리는 수신기를 통해 수신된 신호들을 처리하여 신규위협이 탐지된 경우는 새로운 재밍을 할당하고, 기존 위협신호만이 존재할 경우는 위협 존재 유무를 살펴(Look-Thru) 재밍지속 여부를 결정한다. 또한, 펄스재밍의 경우에는 추적기에 특정신호에 대한 추적을 명령하고, 추적기에서 정상적인 추적이 지속되는 경우만 재밍신호가 발생하도록 제어한다.



[그림 2] 능동 ECM 체계 블록도

가. 반응시간

신규 레이더 신호가 수신기에 유입되어 재밍출력까지 소요되는 시간을 반응시간이라 하며, 반응시간이 빠를수록 적 레이더에 대한 신속한 대응능력을 보유한 최신의 전자전장비로 평가된다.

ECM 체계의 반응시간 계산을 위해 그림 2의 단계별 소요시간을 분석해 보았다. 신호 수집시간은 탐색대역내 신호 존재유무를 파악하기 위한 신호 탐지용 수집시간(탐지 수집시간)과 신호가 존재할 경우 분석/식별 용 수집시간(분석 수집시간)으로 이루어진다. 신호 수집시간을 탐지시간과 분석 수집시간으로 구분하는 이유는 신호 존재유무를 짧은 시간동안 먼저 파악한 다음, 신호가 존재하는 경우에만 보다 정확한 정보 수집을 위해 분석 수집시간을 추가로 할당하기 위함이다. 신호 수집시간은 해당 탐색대역내 존재 가능한 에미터신호들의 특성 파라미터 값들에 따라 가변적으로 설정될 수 있으나, 통상적으로 펄스 신호의 경우에는 탐색대역내  $MaxPRI$ 와 수집개수를 이용하여 식 (2), (3)과 같이 결정된다.

$$P = MaxPRI \times m \tag{2}$$

$$A = MaxPRI \times n \tag{3}$$

여기서  $P$ 는 탐지 수집시간(Present Dwell) 이며,  $A$ 는 분석 수집시간(Analysis Dwell) 이다. 이때, 탐지 수집개수( $m$ )를 분석 수집개수( $n$ )보다 작게 설정하여( $m < n$ ) 신호가 존재하지 않는 대역에서는 빠른 탐지과정이 이루어질 수 있도록 한다.

신호식별 단계는 탐색대역내 수집된 신호들의 파라미터 특성들을 분석하여 보유하고 있는 적 레이더 특성 목록과 일치 여부를 통해 재밍대상 신호를 식별해 내는 과정이다. 이 과정에서는 수집한 신호들의 에미터 변수측정(Frequency, PW, PRI, PA 등) 및 에미터별 그룹핑을 위한 디지털 신호처리 과정이 수행된다. 수집된 신호들의 복잡도 및 수집개수( $m, n$ )가 많을수록 신호 식별시간( $J$ )에 소요되는 시간은 증대된다.

재밍할당에서 재밍신호발생, 재밍출력단계에 소요되는 시간( $J$ )은 탐색대역 내 신호특성과 거의 무관하

며, 장비 개발단계에서 최적화된 값으로 고정된다. 표적 신호에 대해 재밍이 할당되면 신호가 사라질 때까지 계속 재밍할당 상태가 유지되므로 신규신호의 경우에만 재밍할당에서 출력까지 추가적인 시간이 소요된다.

상기 분석내용을 정리하면 한 탐색대역내의 신규신호수집에서 재밍출력시까지 단계별 소요시간은 표 1과 같이 요약된다.

[표 1] 단계별 소요시간

| 단계   | 소요시간  | 비고          |
|------|---|-------------|
| 신호수집 | $P = MaxPRI \times m$                       | 항상소요        |
|      | $A = MaxPRI \times n$                       | 신호존재시<br>소요 |
| 신호식별 | $I = c \times MaxPRI(m+n)$<br>( $c =$ 비례상수) | 신호존재시<br>소요 |
| 재밍할당 | $J = h$<br>( $h =$ 최적화된 상수값)                | 신규신호시<br>소요 |
| 재밍발생 |   |             |
| 재밍출력 |   |             |

표 1을 통해 신호존재 유무와 탐지된 신호종류에 따라 탐색대역별 소요시간은 식 (4), (5), (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{nonSig} = \sum_i^N P_i \tag{4}$$

$$T_{oldSig} = \sum_j^N (P_j + A_j + I_j) \tag{5}$$

$$T_{newSig} = P_k + A_k + I_k + J \tag{6}$$

- $i$  ; 신호가 존재하지 않는 탐색대역 번호
- $j$  ; 신호가 존재하는 탐색대역 번호
- $k$  ; 신규신호가 탐지되는 탐색대역 번호 ( $1 \leq k, i, j \leq N, N$  은 전체 탐색대역 수)

$T_{nonSig}$ 는 신호가 없는 탐색대역에서 신호 존재유무

를 탐지해 내기위한 탐지 수집시간이며,  $T_{oldSig}$ 는 신호가 존재하는 탐색대역에서 신호 수집시간 및 식별 시간이다.  $T_{newSig}$ 는 신규 레이더 신호가 존재하는 탐색대역에서 신호 수집 및 식별시간 그리고 신규 재밍할당을 위해 소요되는 시간이다.

반응시간( $T$ )는 전체 탐색시퀀스 상에서 신규신호가 유입되고 재밍출력까지 걸리는 시간을 의미하므로, 신호를 놓치거나 오인식하지 않는다면  $T$ 가 최소값을 갖는 경우는 전체 탐색시퀀스에서 신규신호가 존재하는 대역(탐색대역  $k$ )을 처음 탐색했을 경우가 되며, 최대값을 갖는 경우는 탐색대역  $k$ 를 맨 마지막에 탐색했을 경우가 되어 식 (7)과 같이 계산될 수 있다.

$$T_{newSig} \leq T \leq T_{newSig} + T_{nonSig} + T_{oldSig} \quad (7)$$

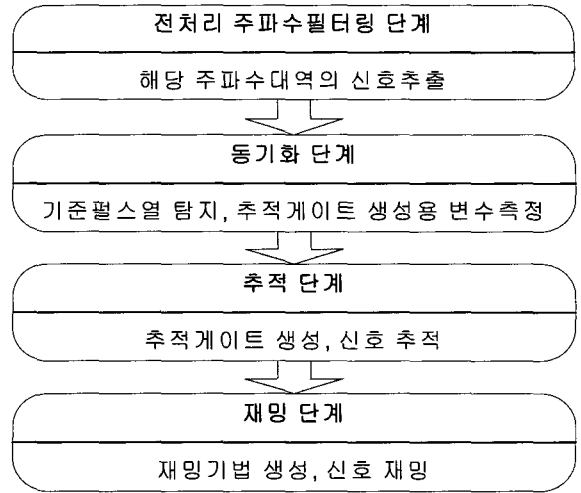
$$P_k + A_k + I_k + J \leq T \leq \{P_k + A_k + I_k + J + \sum_{i=1}^N P_i + \sum_{j=1}^N (P_j + A_j + I_j)\} \quad (8)$$

식 (8)은 식 (7)에 식 (4), (5), (6)을 적용한 것이다.  $J$ (재밍할당 시간)는 장비개발단계에서 이미 최적화된 값이며 신규신호에 대해서만 소요되는 시간이고,  $A$ (분석 시간),  $I$ (식별 시간)는 신호존재시에만 소요되는 시간이므로 탐색대역 수가 동일하다면 탐색시퀀스상에 존재하는 신호가 많을수록, 즉 조우하는 위험이 많을수록 신규신호에 대한 최대 반응시간은 점차 길어지게 된다.

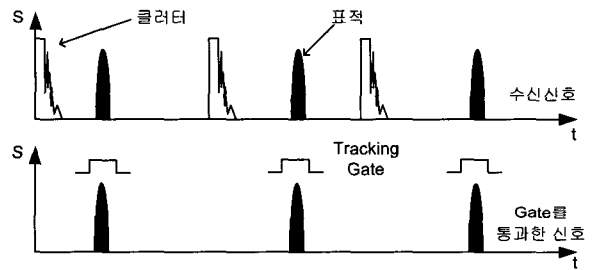
#### 나. 펄스 추적과 재밍

ECM 체계는 레이더 펄스 표적에 대한 지속적인 자동추적과 동기 재밍<sup>16)</sup>을 위해 펄스추적기를 이용한다. 추적기에서 일반적으로 수행되는 펄스 추적 및 재밍과정은 그림 3과 같이 요약될 수 있다.

먼저, 수신된 여러 주파수대역의 펄스 신호에서 추적대상 주파수 대역의 신호만을 추출해내는 전처리 주파수 필터링 과정이 선행되며, 다음으로 추적게이트 생성에 기준이 되는 펄스열(Pulse Train)을 찾기 위한 동기화과정이 수행된다. 동기화과정은 특정 펄스열의 신호정보가 일정 회수 이상 반복될 때 까지 수행되며, 동기화과정에서 측정된 펄스열의 신호정보 ( $PRF$ ,  $PW$ ,  $PA$  등)에 기초하여 게이트 신호가 생성된다. 추적과정에서는 동기화과정에서 생성한 게이트를 반복 생성하여 추적게이트를 생성하고 이를 통해 표적신호를 자동 추적할 수 있다(그림 4 참조). 추적 과정에서 일정 회수의 누락 펄스가 연속적으로 발생하면(추적실패가 발생하면) 동기화과정을 다시 수행한다. 추적게이트를 통해 추적상태가 지속되는 펄스 신호에 대해서는 동기 재밍방법이 생성된다.



[그림 3] 펄스추적과 재밍절차



[그림 4] 추적게이트를 통한 표적추적

스열의 신호정보가 일정 회수 이상 반복될 때 까지 수행되며, 동기화과정에서 측정된 펄스열의 신호정보 ( $PRF$ ,  $PW$ ,  $PA$  등)에 기초하여 게이트 신호가 생성된다. 추적과정에서는 동기화과정에서 생성한 게이트를 반복 생성하여 추적게이트를 생성하고 이를 통해 표적신호를 자동 추적할 수 있다(그림 4 참조). 추적 과정에서 일정 회수의 누락 펄스가 연속적으로 발생하면(추적실패가 발생하면) 동기화과정을 다시 수행한다. 추적게이트를 통해 추적상태가 지속되는 펄스 신호에 대해서는 동기 재밍방법이 생성된다.

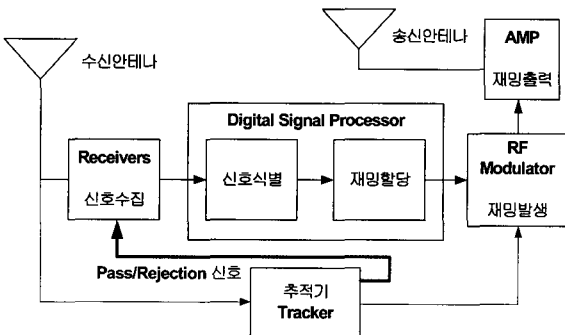
### 3. 귀환 추적게이트 필터링 기법 설계

ECM 체계의 추적기에서 이용되는 추적게이트는

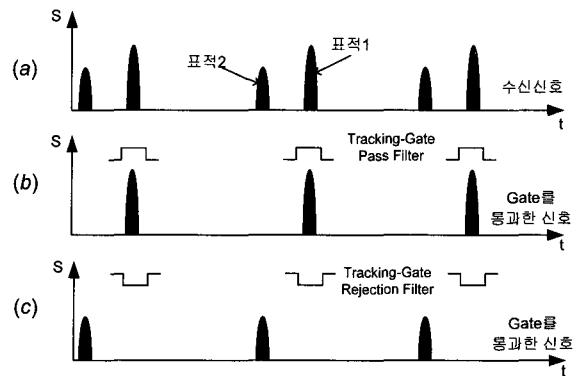
특정 레이더신호의 지속적인 추적을 위해 미리 게이트를 생성해 두고, 신호를 지속적으로 추적하는 용도로 이용된다. 이는 추적게이트가 이미 식별된 펄스신호의 다음 도착시간을 예측할 수 있도록 생성되기 때문이다(그림 4 참조). 따라서, 추적게이트를 ECM 체계 운용상황에 따라 수신기내 유입 신호들에 대한 통과 또는 제거 용도로 이용한다면, 원하는 신호만을 수신하거나 반대로 불필요한 신호를 제거할 수 있게 되어, 신규신호에 대한 반응시간 단축을 가져올 것이다. 아울러 위협 조우상황에 따른 수신기 신호 유입량 제어는 표적신호에 대한 신호식별을 향상(신호식별 오차율 감소)에도 기여할 수 있을 것이다.

제안된 방법을 그림 2의 능동 ECM 체계 블록도에 적용하면 그림 5와 같이 추적기의 추적게이트 신호가 신호 수신기에 귀환되도록 표현할 수 있다. 그림 6은 그림 5에 표현된 귀환 추적게이트 필터 신호를 수신기에 적용하는 개념을 보여준다. 그림 6-(a)에서와 같이 수신기 유입신호(표적1, 2)가 존재한다고 할 때, 표적1의 추적게이트 신호를 수신기에 귀환시켜 통과 필터로 적용하였을 경우는 그림 6-(b)와 같이 최종 유입신호는 표적1이 되며, 표적1의 추적게이트 신호를 수신기에 귀환시켜 제거 필터로 적용하였을 경우는 그림 6-(c)와 같이 최종 유입신호는 표적1 신호가 제거된 표적2 신호가 된다.

그림 5, 6의 귀환 추적게이트 필터 개념을 기반으로 추적게이트를 실시간 제어하여 수신기에 통과 또는 제거 필터로 적용할 수 있는 방법에 대해 구체적으로 연구하였다. 이때, 수신기내 재밍 피드백 신호유



[그림 5] 제안된 방법이 적용된 능동 ECM 체계 블록도



[그림 6] 추적게이트 통과/제거 필터개념

입을 막는 PRI 블랭킹신호 유무를 같이 고려하여 기존 제어회로가 영향을 받지 않도록 하였다. 기존 제어회로에서 PRI 블랭킹신호는 수신기에 제거 필터로 이용된다.

$$S_{in} = S \wedge A \wedge \overline{B}$$

(here,  $A = A_1 \vee A_2 \vee A_3 \vee \dots \vee A_n$  (9)  
 $B = B_1 \vee B_2 \vee B_3 \vee \dots \vee B_n$ )

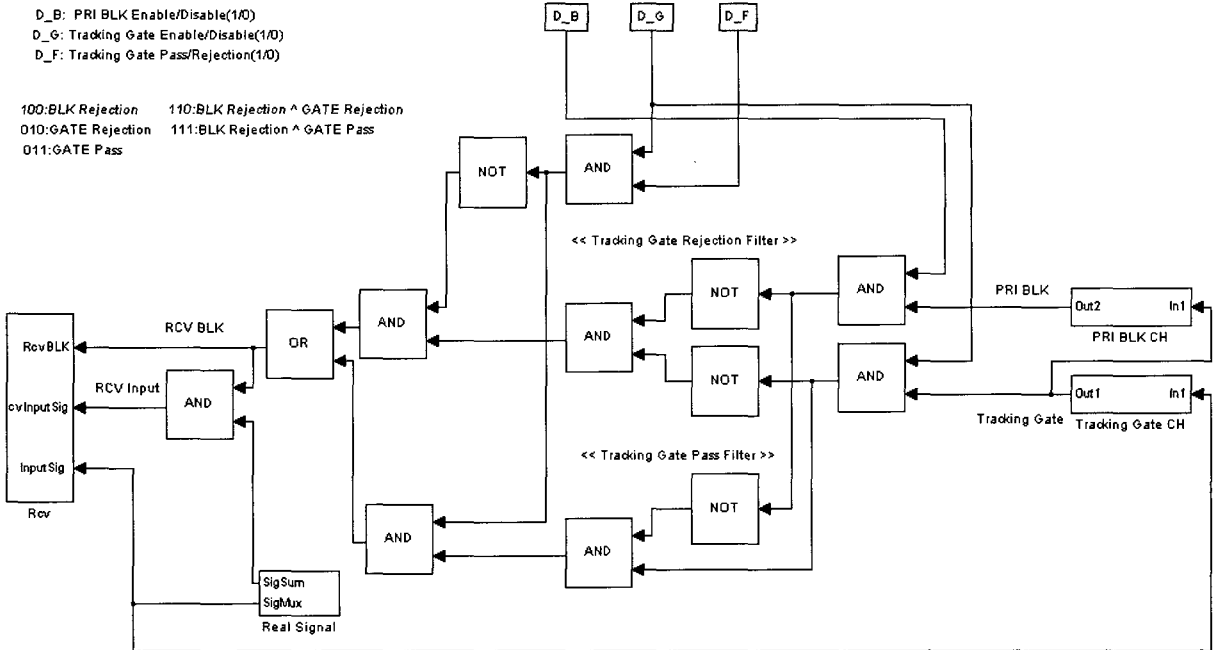
신호 S에 대해 A가 통과 필터로, B가 제거 필터로 적용될 때, 논리식은 식 (9)와 같이 쓸 수 있다. 여기서 A, B는 각 펄스신호  $A_1A_2 - A_n$ ,  $B_1B_2 - B_n$ 이 모여 형성된 펄스열 신호들이며 신호  $S_{in}$ 는 적용된 필터를 통과한 수신기내 최종 입력신호이다.

식 (9)에 의해, 입력신호(S)에 대해 PRI 블랭킹 신호(B)가 제거 필터로, 추적게이트(G)는 통과 필터로 적용될 때 논리식은 식 (10)과 같으며, 입력신호(S)에 대해 PRI 블랭킹 신호(B)와 추적게이트(G)가 제거 필터로 적용될 때 논리식은 식 (11)과 같다.

$$S_{in} = S \wedge (\overline{B} \wedge G) \tag{10}$$

$$S_{in} = S \wedge (\overline{B} \wedge \overline{G}) \tag{11}$$

만일, 추적기에서 신호 추적이 실패한다면 추적게이트는 레이더신호의 다음 도착시간 예측에 실패할 것이다. 이와 같은 경우 추적게이트를 신호수신에 이



[그림 7] 귀환 추적게이트 필터설계

용한다면, 원치 않는 신호를 수신하거나 제거하게 된다. 따라서, 추적기의 추적상태를 반영하여 추적상태가 성공일 때만 추적게이트를 이용할 수 있도록 하여야 한다. 이와 같은 상황을 고려하여 추적게이트와 PRI 블랭킹 신호의 필터 사용유무를 결정짓는 실시간 제어데이터 신호를 추가하였다.

PRI 블랭킹 신호와 추적게이트 신호를 필터로 사용할지 유무를 결정짓는 제어데이터  $D_B$ (PRI 블랭킹 사용유무 : 1=사용, 0=미사용),  $D_G$ (추적게이트 사용유무 : 1=사용, 0=미사용)을 식 (10), (11)에 추가하면, 식 (12), (13)를 얻을 수 있다.

$$S_{in} = S \wedge \{ (\overline{D_B \wedge B}) \wedge (\overline{D_G \wedge G}) \} = S \wedge R \quad \text{(12)}$$

{ here,  $R = (\overline{D_B \wedge B}) \wedge (\overline{D_G \wedge G})$  }

$$S_{in} = S \wedge \{ (\overline{D_B \wedge B}) \wedge (D_G \wedge G) \} = S \wedge P \quad \text{(13)}$$

{ here,  $P = (\overline{D_B \wedge B}) \wedge (D_G \wedge G)$  }

여기에, 신호탐지 목적에 따라 추적게이트를 통과 필터, 제거 필터로 제거가능토록 하는 제어데이터 신호를 추가한다.

수신기의 탐지목적에 따라, 통과 필터는 특정 레이더신호의 존재여부를 탐지하기 위한 Look-Thru<sup>[6]</sup> 용도로 이용될 수 있으며, 제거 필터는 이미 식별된 신호의 유입을 막고 신규신호의 존재여부만을 감지하는 신규신호 탐지 용도로 이용될 수 있다.

추적게이트가 제어데이터  $D_F$  의해  $R$ (제거 필터 :  $D_F=0$ )과  $P$ (통과 필터 :  $D_F=1$ )의 사용방법이 결정된다고 할 때, 식 (12), (13)은 식 (14)로 표현할 수 있다.

$$S_{in} = (\overline{D_F} \wedge R) \vee (D_F \wedge P) = \{ \overline{D_F} \wedge \{ (\overline{D_B \wedge B}) \wedge (\overline{D_G \wedge G}) \} \} \vee \{ D_F \wedge \{ (\overline{D_B \wedge B}) \wedge (D_G \wedge G) \} \} \quad \text{(14)}$$

식 (14)의 논리식을 바탕으로 PRI 블랭킹과 추적게이트를 필터용도로 수신기에 연결하는 제어회로는 그림 7과 같이 설계된다. 설계된 제어회로는 추적기

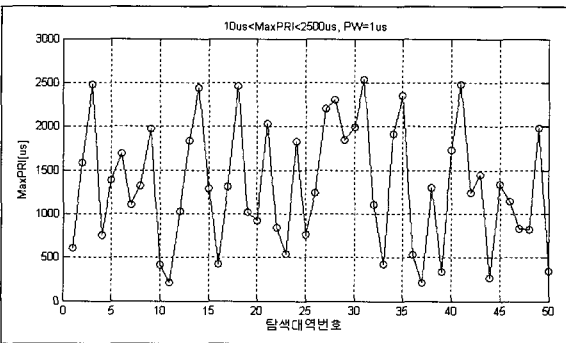
의 추적게이트신호와 재밍신호 발생기의 PRI 블랭킹 신호를 수신기에 귀환 적용시켜 펄스 레이더 신호유입을 통과 또는 제거한다. 설계회로를 제어하는 제어 데이터 신호( $D_B, D_G, D_F$ )는 ECM 체계의 위협 조우상황 또는 추적기의 추적 상태를 반영하여 ECM 체계의 운용프로그램이나 디지털회로 제어프로세서에서 실시간 제어하게 된다.

#### 4. 설계기법 시뮬레이션 및 분석결과

설계된 귀환 추적게이트 필터를 신호 수신목적에 따라 시뮬레이션 하여 적용성 여부를 검증하였으며, 기존방법과의 반응시간 및 표적신호에 대한 오인식을 값을 비교 검토하여 그 효용성을 입증하였다. 표 2와 그림 8은 시뮬레이션에 사용된 시험용 신호들이다.

[표 2] 시험용 신호 Set1

| 신호명  | PRI[us] | PW[us] | 비 고             |
|------|---------|--------|-----------------|
| sig1 | 100     | 10     | [그림 9, 10]의 (a) |
| sig2 | 33      | 1      | [그림 9, 10]의 (b) |
| sig3 | 30      | 1      | [그림 9, 10]의 (c) |
| sig4 | 200     | 5      | [그림 9, 10]의 (d) |



[그림 8] 시험용 신호 Set2

##### 가. 귀환 추적게이트의 필터링 동작시뮬레이션

###### 1) 제거(Rejection) 필터 동작

설계된 귀환 추적게이트의 제거 필터는 신규탐지들

목적으로 한다. 이에 대한 동작정상 여부를 파악하기 위해 표 2의 시험용 신호들(sig1, 2, 3, 4)을 이용하여 그림 7의 시뮬레이션 회로에 신호입력을 발생시킨 후, 기 식별신호를 표 2의 sig1, 3, 4로 가정하고, 신규신호를 표 2의 sig2로 가정하여 기 식별신호들(표 2의 sig1, 3, 4)에 대한 추적게이트를 제거 필터로 수신기에 적용시켜 보았다.

그림 9의 (a)~(d)는 표 2의 sig1~4 신호를 나타내며, 그림 9의 (e)는 수신기에 적용된 귀환 추적게이트의 필터신호를 나타낸다. 그림 9의 (f)는 귀환 추적게이트 필터를 통과한 수신기내 최종 입력 펄스 신호를 보여준다.

시뮬레이션 결과, 신규신호로써 수신단에 입력시킨 신호(그림 9의 (b))와 수신기내 최종 입력 펄스신호(그림 9의 (f))를 비교하면, 다수입력신호가 존재하는 상황에서 기 식별신호가 제거되고 원하는 신규신호가 정상적으로 유입되고 있음을 알 수 있다.

##### 2) 통과(Pass) 필터 동작

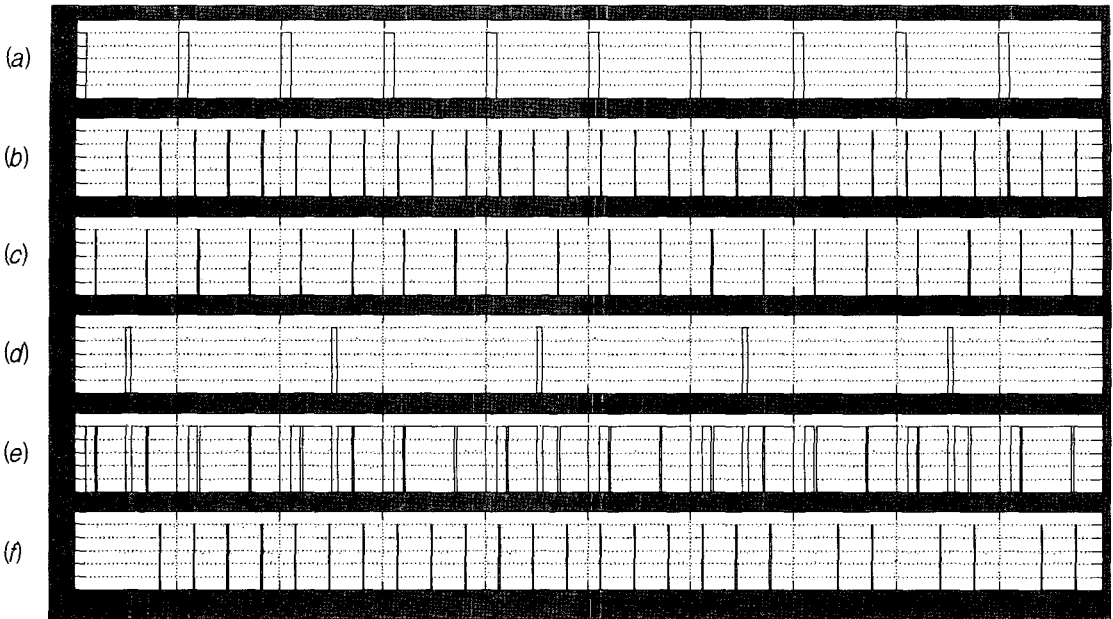
설계된 귀환 추적게이트의 통과 필터는 Look-Thru를 목적으로 한다. 이에 대한 동작정상 여부를 파악하기 위해 표 2의 시험용 신호들(sig1, 2, 3, 4)을 이용하여 그림 7의 시뮬레이션 회로에 신호입력을 발생시킨 후, Look-Thru 대상 신호를 sig3이라 가정하고 해당 신호(표 2의 sig3)에 대한 추적게이트를 통과 필터로 수신기에 적용시켜 보았다.

그림 10의 (a)~(d)는 표 2의 sig1~4 신호를 나타내며, 그림 10의 (e)는 수신기에 적용된 귀환 추적게이트의 필터신호를 나타낸다. 그림 10의 (f)는 귀환 추적게이트 필터를 통과한 수신기내 최종 입력 펄스 신호를 보여준다.

시뮬레이션 결과, Look-Thru 대상 신호로 수신단에 입력시킨 신호(그림 10의 (c))와 수신기내 최종 입력 펄스신호(그림 10의 (f))를 비교하면, 다수입력신호가 존재하는 상황에서 Look-Thru 대상 신호만이 정상적으로 유입되고 있음을 알 수 있다.

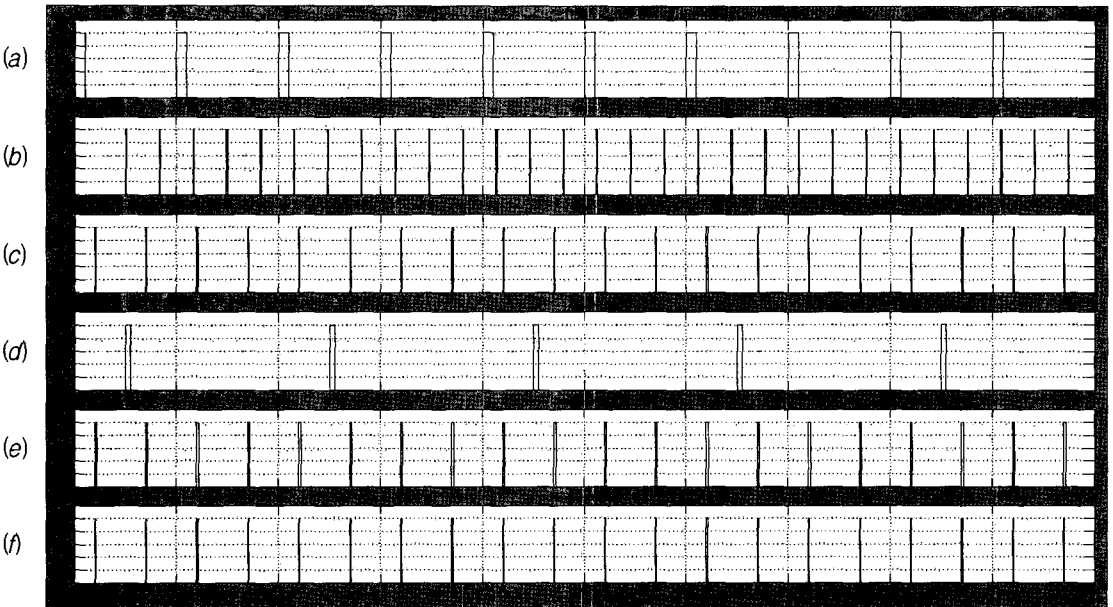
##### 나. 귀환 추적게이트 필터적용 시 반응시간

설계된 귀환 추적게이트가 기 식별된 신호에 대해 제거 필터로 적용될 때, 식 (8)의 반응시간 계산식은



[그림 9] 귀환 추적게이트 제거(Rejection) 필터동작

(a): 표 2의 sig1 펄스신호, (b): 표 2의 sig2 펄스신호, (c): 표 2의 sig3 펄스신호, (d): 표 2의 sig4 펄스신호  
(e): sig1, 3, 4의 추적게이트 Rejection 필터신호, (f): 귀환 추적게이트 신호 적용시 수신기 최종 입력신호



[그림 10] 귀환 추적게이트 통과(Pass) 필터동작

(a): 표 2의 sig1 펄스신호, (b): 표 2의 sig2 펄스신호, (c): 표 2의 sig3 펄스신호, (d): 표 2의 sig4 펄스신호  
(e): sig3의 추적게이트 Pass 필터신호, (f): 귀환 추적게이트 신호 적용시 수신기 최종 입력신호

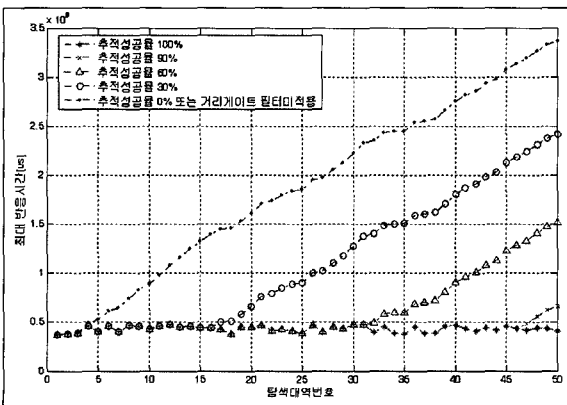


(15)와 같이 표현될 수 있다. 식 (15)를 통해, 기 식별된 신호에 대한 신호 유입을 제거함으로써 신규 신호가 탐지되었을 때만 신호 분석을 위한 수집시간과 분석, 식별시간이 적용되어 반응시간이 단축될 수 있음을 알 수 있다.

$$P_k + A_k + I_k + J \leq T \leq \{P_k + A_k + I_k + J + \sum_i^N P_i\} \quad (15)$$

이와 같은 현상은 탐색대역 시퀀스 상에 유입되는 신호(조우 위협수)가 증가할수록 더욱 두드러지게 될 것이다. 이를 입증하기 위해 MaxPRI가 10us에서 2.5ms로 랜덤하게 설정된 탐색대역 50개(그림 8의 시험신호 Set2 참조)로 가상의 탐색시퀀스를 구성하고,  $i (1 \leq i \leq 50)$  번째 탐색시퀀스를 수행할 때 마다  $i$  번째 탐색대역에 신규신호를 1개씩 추가해 가면서 최대반응시간을 시뮬레이션해 보았다.  $i$  번째 탐색시퀀스에서 추가된 신호는  $i+1$  번째 탐색시퀀스에서는 기 식별신호로 간주되어 제거 추적게이트 필터가 적용된다.

또한, 전체 탐색시퀀스상에 추적성공율을 0%, 30%, 60%, 90%, 100%로 변화시켜 보면서 최대반응시간 시뮬레이션을 반복해 보았다. 추적성공율은 추적게이트 적용율과 같으므로 추적성공율 0%에서는 추적게이트가 전혀 적용되지 않은 기존방법과 같은 결과를 얻을 수 있다. 시뮬레이션 결과는 그림 11과 같다. 그



[그림 11] 최대 반응시간 시뮬레이션

림 11에서 알 수 있듯이 추적게이트를 적용하지 않은 기존 방법(추적성공율 0%)은 신호유입량(조우하는 위협)이 증가 할수록 최대반응시간이 계속 증가 하고 있음을 알 수 있으며, 추적게이트를 적용한 방법은 신호 추적성공율이 높을수록 최대반응시간이 단축되고 있음을 알 수 있다.

다. 신호식별 오차를 시뮬레이션

기존방법과 추적게이트 필터를 적용한 방법에 대해 동일 탐색대역내 신호유입량 증가시, 표적신호에 대한 식별 오차율을 시뮬레이션해 보았다. 신호식별 오차율은 표적신호의 펄스열이 A라 하고, 수신기내 최종 유입되는 신호들의 펄스열이 B라 할 때, 식 (16)과 같이 두 펄스열의 차(에러 펄스열)에 대한 총합을 시뮬레이션 시간 T 동안 계산하여 산출하였다.

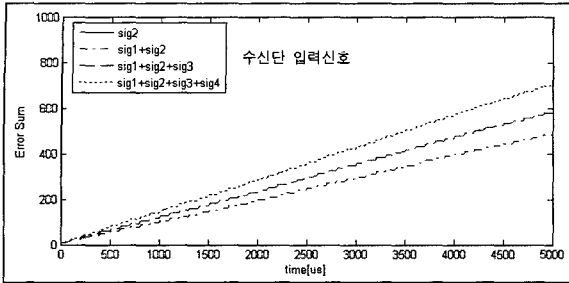
$$Error\ Sum = \sum_{i=0}^T \sqrt{(A_i - B_i)^2} \quad (16)$$

(here,  $A = A_1 \vee A_2 \vee A_3 \vee \dots \vee A_n$   
 $B = B_1 \vee B_2 \vee B_3 \vee \dots \vee B_n$ )

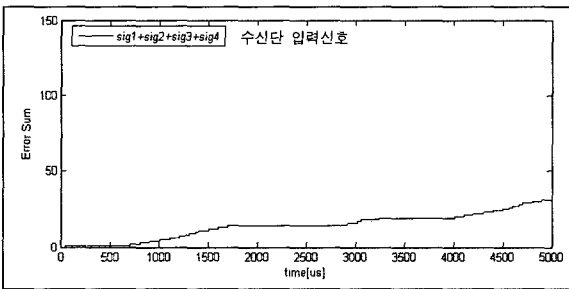
표적신호와 수신기내 유입신호가 같은 경우( $A=B$ ), 식 (16)의 Error Sum(에러 펄스열의 총합)은 0이 된다. 즉, Error Sum 값이 0에 가까울수록 표적신호와 유사한 신호를 수신하게 되므로 신호를 오인식하게 될 가능성은 낮아지게 된다. 반대로, Error Sum 값이 클수록 신호를 오인식하게 될 가능성은 높아지게 된다.

시험을 위해서는 표 2의 시험 신호가 사용되었다. 여기서, sig2는 표적신호인 신규신호, 나머지 신호들(sig1, 3, 4)은 기 식별된 신호라 가정하고, 기 식별신호를 1개씩 추가해 하며 식별된 신호에 대해 제거 추적게이트 필터를 적용한 경우와 적용하지 않았을 경우에 대해 표적신호(sig2)에 대한 Error Sum 값 증가량을 5ms 동안 비교하였다.

그림 12의 시뮬레이션 결과로 알 수 있듯이 추적게이트 필터를 적용하지 않았을 경우는 그림 12-(a)와 같이 수신단 입력신호의 신호유입량이 sig2부터 sig1+sig2+sig3+sig4까지 증가 할수록 수신기내의 표적신호에 대한 Error Sum 값은 계속 증가하였다. 이



(a) 귀환 추적게이트 필터 미적용시 오차



(b) 귀환 추적게이트 필터 적용시 오차

[그림 12] 신호식별 오차율 시뮬레이션

에 반해 추적게이트 필터를 적용한 경우는 그림 12-(b)와 같이 수신단 입력신호가 추적게이트 필터를 적용하지 않았을 경우의 최대량( $sig1+sig2+sig3+sig4$ )과 같았을 때에도 그 증가량이 미미하였다. 이는 추적게이트 필터를 이용할 경우 다중위협 상황에서 신호 식별을 향상을 가져올 수 있음을 알게 한다.

## 5. 맺음말

기존 ECM 체계는 조우되는 위협수가 증가할수록 수신기내 신호유입량이 많아져서, 신규신호 유입에서 재밍출력사 까지 소요되는 반응시간이 길어지게 된

다. 본 논문에서는 추적기의 추적게이트 신호를 신호 탐지 목적에 따라 수신기에 귀환(Feed-back)시켜 통과 또는 제거 필터로 이용함으로써, 수신기내 신호유입량을 실시간 제어하여 ECM 체계의 반응시간을 단축할 수 있는 방법을 제시하고 구체적으로 설계하였다.

설계된 귀환 추적게이트 필터링 기법은 시뮬레이션수행 결과, 신호수신 목적(신규탐지/Look-Thru)에 따라 제거(Rejection) 필터와 통과(Pass) 필터로 적용성이 뛰어나게 동작하였으며, 탐색대역내 표적신호 이외의 신호유입량을 최소화하여 고밀도, 다중위협 상황에서 ECM 체계의 반응시간을 단축시키고, 표적신호에 대한 오인식율을 저하시킬 수 있음을 보여주었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이상설, 강정수, “레이더공학”, 보성문화사, 2003, pp.611~621.
- [2] George W. Stimson, “Introduction to Airborne Radar”, Second Edition. Scitech Publishing, Inc., 2003, pp.03~20.
- [3] 김용윤, 유근호, 이수동, 최영운, 황춘식, “전자전 시스템”, 청문각, 1999, pp.100~130.
- [4] 정재순 역, Merrill I. Skolnik, “레이더 이론 및 원리(Introduction to Radar Systems)”, 광명, McGraw Hill, 2001, pp.173~209.
- [5] Edward J. Chrzanowski, “Active Radar Electronic Countermeasures”, Artech House, 2001, pp.177~190.
- [6] Van Brunt, “Applied ECM”, VOL 1/2, EW Engineering, Inc., 1991.