

레이더 신호 탐지를 위한 잡음제거 임계레벨 자동제어 기법

Noise Cancelling Automatic Threshold Control Method for Radar Signal Detection

이 치 현*

Chi-Hun LEE

ABSTRACT

In this paper, we proposed an automatic threshold control method for radar warning receiver. Considering the noise level of the environment, this technique can effectively adjust sensitivity level of radar warning receiver and can offer more accurate radar information for aircraft pilot in noisy circumstances.

Keywords : Radar Warning Receiver(레이더 경보 수신기), Electronic Warfare(전자전), Threshold(임계레벨), IFM(Instantaneous Frequency Measurement) Receiver

1. 서론

항공 전자전 체계에서 요구되는 핵심 역할 중 하나는 실시간 감시기능이다. 레이더 경보 수신기(Radar Warning Receiver)는 항공기가 지대공 미사일 또는 항공 레이더로부터 추적을 받고 있는지를 판단하여 승무원에게 실시간으로 정보를 제공하는 역할을 한다. 일반적으로 첨단 항공 전자전 분야에서 가장 많이 사용되는 레이더 경보 수신기 구조는 IFM(Instantaneous Frequency Measurement) Receiver이다.

IFM receiver는 순시 광대역 주파수 대역폭(Instantaneous Frequency Wideband Bandwidth) 특성을 지니고, 매우 높은 주파수 정확도로 short pulse 신호를 분리하여 측정할 수 있다. 또한 수신감도(Sensitivity)와 동작 영역

(Dynamic Range) 면에서도 좋은 특성을 지닌다. 하지만 입력에 주파수가 다른 다수의 입력 신호가 시간적으로 동시에 들어왔을 경우 입력 신호의 주파수 성분 모두를 정확하게 분석하는 것이 어려울 뿐만 아니라, 다수의 입력 중 하나의 주파수 신호라도 정확히 찾는 것이 최선의 결과일 수 있다^[1].

항공 무기 체계 중에서 헬리콥터의 경우는 저고도에서 작전 수행이 필요하다. 기동형 헬리콥터의 경우 임무 프로파일은 지상 병력 및 장비 수송, 물자 보급이다. 탐승/적재 또는 상륙/하역 임무 수행 시에는 저고도에서 오랫동안 작전을 수행하게 된다. 작전 지역이 산악지역인 경우 상용 무선통신 기지국이 산 정상에 위치하는 경우가 많다. 이 때 작전 지역은 상용 무선통신의 특성상 무지향성의 강한 전파 신호가 지속적으로 방사되는 환경이 된다. 무선통신 기지국에서 방사하는 잡음 신호와 위협 레이더 신호가 혼재하는 경우 IFM receiver를 사용하는 레이더 경보 수신기에서는 위협 제원을 분석하여 조종사에게 제공하기가 어

† 2013년 1월 3일 접수~2013년 2월 22일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD) 제2기술연구본부 4부

책임저자 : 이치현(chihunlee@add.re.kr)

려운 상황이 된다.

2. 레이더 경보 수신기 임계레벨 자동제어 알고리즘

가. Emitter(위협) 식별 단계

레이더 경보 수신기에서 위협 식별 과정은 총 4단계(신호수신, 신호탐지, 신호분석, 위협식별)로 수행된다. 신호 수신 단계에서는 안테나를 통해 대기 중의 전자파 신호를 수신한 후 신호 수신 장치에서 시간에 따라 주파수 대역을 나누어 선택적으로 수신하게 된다. 신호 탐지 단계에서는 수신된 신호의 파라미터를 측정한다. 이때 측정 파라미터는 주파수, PA(Pulse Amplitude), TOA(Time Of Arrival), PRI(Pulse Repetition Interval), AOA(Angle Of Arrival) 등이 있다. 신호 분석 단계에서는 수신된 신호를 그룹화 하여 대상 위협의 신호 특성에 따른 펄스열을 추출한다. 추출된 펄스열을 이용하여 신호 특성 제원을 추정하게 된다. 마지막으로 위협식별 단계에서 위협 정보 라이브러리에서 일치하는 위협을 동기화하여 위협 정보를 생성한 후 조종사에게 제공한다^[2].

나. 고정 임계레벨 설정의 문제점

일반적인 수신기의 절대적인 수신감도(Sensitivity)는 Receiver link budget의 gain과 NF(Noise Figure), 수신기의 요구되는 SNR_{min}(Signal to Noise Ratio)에 의해 결정된다. 레이더 경보 수신기는 작전 반경과 잡음 필터링(Filtering)을 고려하여 임계레벨(Threshold)을 이용하여 수신감도를 결정한다. 다시 말해 임계레벨을 낮게 설정을 하면 신호 레벨이 낮은 신호를 수신할 수 있지만, 잡음 신호의 유입이 많아져서 위협식별의 정확도가 낮아진다. 반면 임계레벨을 높게 설정할 경우 신호 레벨이 높은 신호만을 수신하여 잡음 신호보다 큰 레이더 신호를 정확히 식별이 가능하지만, 작전 반경이 줄어드는 결과를 가져온다. 따라서 임계레벨은 항공기의 임무, 작전 반경, 작전 지역의 무선 환경을 고려하여 적절한 수준으로 설정된다.

항공 전자전 체계 중에서 헬리콥터의 경우 전투기와 달리 저고도와 중고도 비행이 잦다. 전투기용 레이더 경보 수신기의 임계레벨은 잡음 레벨의 편차가 크지 않기 때문에 일정한 수치로 적용가능하다. 하지만 헬리콥터의 경우 저고도 작전 수행 시에는 무선 통신 기지국 주변에서 강한 상용 통신 잡음의 영향을 받는

다. 상용 통신 잡음의 경우는 장소에 따른 변화도 심하다. 따라서 헬리콥터의 경우 일정한 임계레벨을 적용하는 것은 잡음 환경의 변화가 심한 점을 고려할 때 문제가 된다. 저고도 비행시 유입되는 높은 잡음을 기준으로 임계레벨을 설정하면 수신감도 레벨도 높아져 작전 반경이 줄어들고, 중고도 비행시 유입되는 낮은 잡음을 기준으로 설정하면 저고도 비행에서 높은 잡음 레벨로 인해 위협 신호를 탐지해내기가 어렵다. 그러므로 헬리콥터에서는 잡음 레벨을 판단하여 임계레벨을 자동으로 조절하는 알고리즘을 적용할 필요가 있다. 이처럼 임계레벨 자동 조정 기능을 구현을 위해 ‘어떤 신호를 잡음으로 판단할 것인가’와 ‘어떻게 임계레벨을 변경할 것인가’를 결정해야 된다.

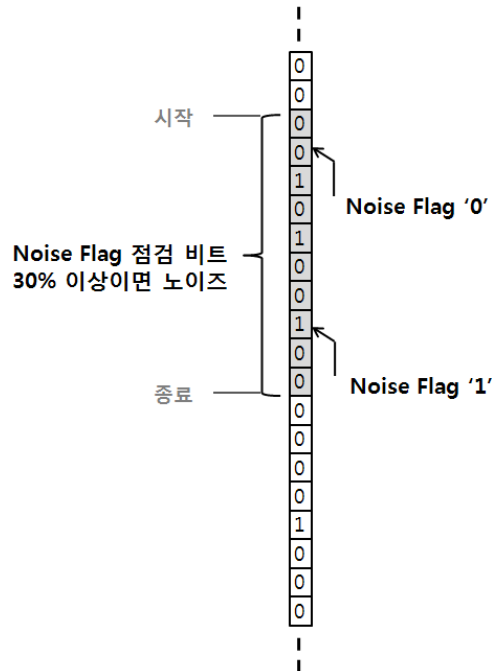


Fig. 1. 잡음 탐지 방법

다. 잡음 판단 및 임계레벨 자동제어

레이더 경보수신기는 고주파 신호를 분석장치에서 PDW(Pulse Description Word)라는 이진화된 포맷의 디지털 신호로 생성한다. 일반적인 레이더 위협의 포맷이 펄스열을 고려한 것인데, 무선통신 신호와 동일 대역의 레이더 신호가 혼재된 경우 무선통신 신호가 잡음으로 작용하여 PDW 신호를 변환 분리가 어렵다. 이는 무선 통신 신호의 형태가 매우 조밀하여 레이더

신호와 분리가 되지 않기 때문이다. 따라서 무선통신 신호를 판단할 수 있는 분류 기준이 필요하다. 신호 탐지 단계에서 수집되는 정보 중 PW(Pulse Width)와 DTOA(Delta Time of Arrival)를 이용하여 귀납적인 추론으로 (1), (2)와 같이 잡음 판단 기준을 설정하였다. 아래의 수식적용 시 $2\sigma(95\%)$ 수준으로 Noise 분리가 가능하였다.

$$(PW > 350ns) \ \& \ (DTOA - PW < 725ns) \quad (1)$$

$$(PW < 350ns) \ \& \ (DTOA < 1075ns) \quad (2)$$

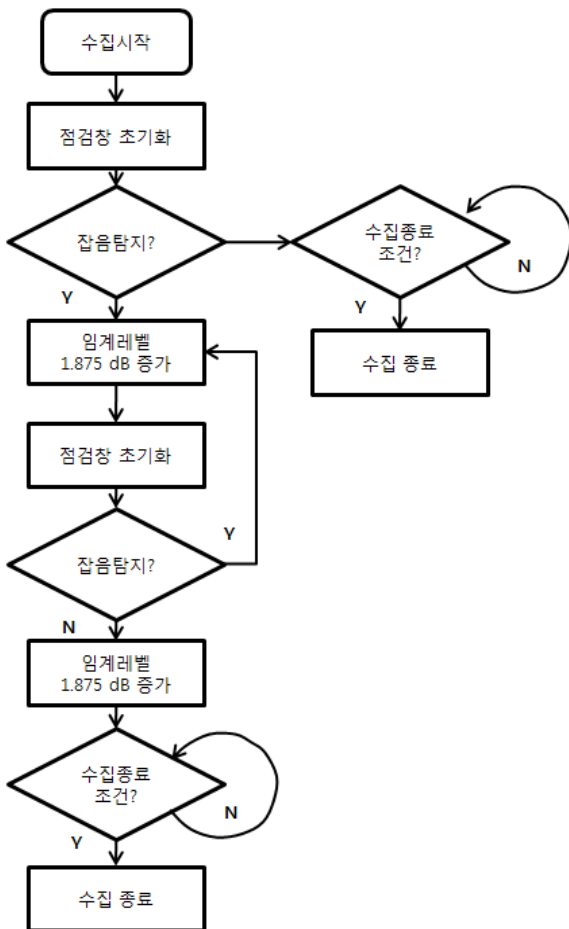


Fig. 2. 문턱값 자동제어 알고리즘 순서도

PDW 측정판은 입력신호를 펄스열로 생성하기 위해 펄스열 수집의 시작과 종료제어 그리고 펄스열을 생성하는 동안 다음 펄스의 입력을 제한한다. 점검창을 이

용하여 펄스열 생성 후 잡음 판단기준인 (1)과 (2) 중 하나를 만족하는 경우가 발생하였을 시 Noise Flag를 '1'로 발생한다. Fig. 1은 Noise 신호 판단 후 2차적으로 잡음 필터링을 하는 과정이다. 총 10개의 점검창 내의 펄스열의 'Noise Flag'가 30% 이상이면 잡음이 탐지되었다고 판단하여 PDW 측정판에서 수집된 펄스열을 삭제한다. 이후 잡음 신호제거를 위해 임계레벨을 1.875 dB 상승시킨 뒤 점검창을 초기화하고 같은 방법으로 잡음을 탐지한다. 점검창을 초기화 한 후 새로 입력되는 펄스열을 수집한 결과 Noise Flag 수가 30% 미만이 되었을 때 최종적으로 위협 레이더 신호만 남은 것으로 판단한다. 최종 위협 신호로 식별되었을 때 잡음 신호에 대한 이중제거를 위해 수신임계레벨을 1.875 dB 증가하여 최종신호의 펄스열을 분석한다. Fig. 2는 위의 일련의 과정을 순서도로 도식화하였다.

라. 임계레벨 자동제어 알고리즘 검증.

본 논문에서 제안된 기법의 실효성을 입증하기 위해 다중위협신호 발생기를 이용하여, 실제 위협과 유사한 형태의 모의 위협 신호를 발생시키고, 이를 레이더 경보 수신기의 안테나 방향으로 방사하여 분석/식별 여부를 확인하는 시험을 수행하였다. 잡음 환경을 재현하는 방법으로는 상용 무선 통신 기지국 주변 PA (Pulse Amplitude)가 -35 ~ -40 dBm 분포를 갖는 장소를 찾아 확인 시험을 수행하였다.

Fig. 3은 임계레벨 자동제어 알고리즘 적용하기 전에 잡음 환경에서 수집되는 신호의 파형과 수집 신호를 보여준다. 이때 임계레벨은 기존의 방식처럼 고정된 값을 사용한다.

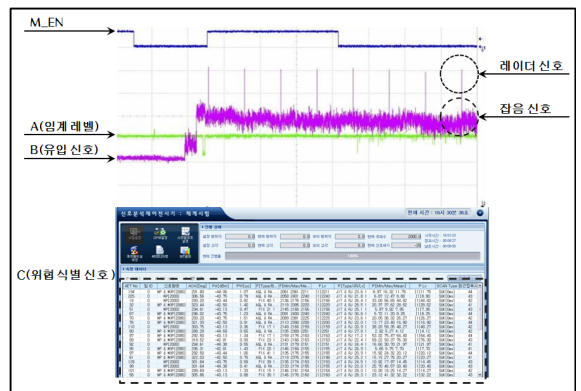


Fig. 3. 알고리즘 적용 전 신호 파형 및 수집 신호

라인 A는 임계레벨의 파형을 나타내며 고정된 값을 가진다. 라인 B는 레이더 경보수신기에서 유입되는 신호의 파형을 나타내고 있고, 잡음 신호와 레이더 신호가 혼재되어있다. 이때 생성되는 위협 식별 신호는 C 박스안에 표시된다. 수집된 위협 식별 신호는 이동통신 잡음 신호만을 수집하였고, 레이더 신호는 수집되지 않았다. IFM 방식의 레이더 경보 수신기는 짧은 시간동안 주기적으로 주파수 대역을 나누어 선택적으로 탐색을 한다. 따라서 특정주파수 영역에 대해 시간과 수집 개수의 제약이 불가피하다. 위 상황은 한번 수집 가능한 신호 용량을 전부 잡음 신호가 차지하여, 실제 레이더 신호는 탐지할 수 없는 상황이 된 것이다.

Fig. 4는 임계레벨 자동제어 알고리즘을 적용시킨 후 수집되는 신호를 나타낸다. 임계레벨은 잡음 신호를 판단하여 단계적으로 상승하는 것을 확인할 수 있다. 최종적으로 임계레벨 위에 있는 실제 레이더 신호가

추출이 되는 것이 확인되었고, 실제 수집된 위협 식별 신호에서 레이더 신호가 정확하게 수집되고 있음을 확인할 수 있다.

제안된 기법을 적용하여 야외 시험을 통해 실제 항공기가 운용하는 환경에서 확인시험을 통해 식별 능력을 검증하였다. 야외 시험은 단일 위협이 아닌 다중 위협이 실제 존재하고, 이동 통신 기지국의 출력이 높은 산악 지역에서 진행되었다. 본 시험 결과 미사일 유도 레이더를 비롯해 탐지 레이더가 정상적으로 수집 탐지되는 것을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 지상에서 발생하는 잡음 신호가 강하게 유입될 수 있는 헬리콥터와 같은 항공기의 레이더 경보 수신기 임계레벨 자동 조정 알고리즘을 제안하였다. 본 기법을 전자전 장비에 적용함으로써 오경보율을 낮추어 조종사에게 정확한 상황 정보 제공이 가능하다. 본 논문에서 제안된 기법은 실 장비를 이용한 야외 시험을 통해 그 효용성을 입증하였다.

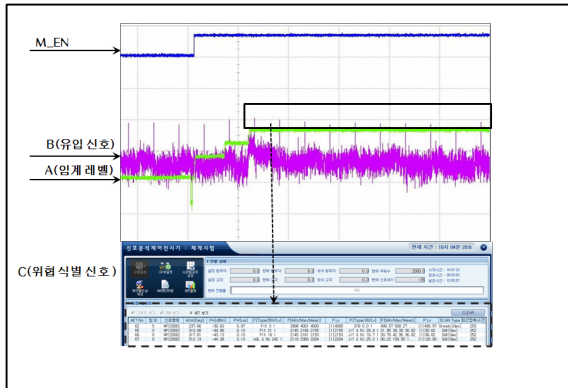


Fig. 4. 알고리즘 적용 후 신호 파형 및 수집 신호

References

- [1] J. B. Y. Tsui, Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications, New York : Willey, 1986.
- [2] F. Neri, Introduction to Electronic Defense Systems, Boston : Artech House, 1991.