

# 특징인자를 활용한 펄스 내 변조 형태 식별방법에 관한 연구

유기훈\* · 한진우\* · 박병구\*\* · 이동원\*\*

\*LIG 넥스원, \*\*국방과학연구소

A study on intra-pulse modulation recognition using feature parameters

KiHun Yu\* · JinWoo Han\* · ByungKoo Park\*\* · DongWon Lee

\*LIG Nex1 Co., \*\*Agency for Defense Development

E-mail : kihun.Yu@lignex1.com, jinwoo.han@lignex1.com, skywalker@add.re.kr, dwlee@add.re.kr

## 요 약

최근 전자전(Electronic Warfare)에서는 기존 레이더 신호와는 다른 펄스 내 변조의 특성을 가지고 있는 저피탐확률 (LPI : Low Probability Intercept) 레이더가 도입/운용되고 있는 추세이다. 이러한 LPI 레이더를 탐지하기 위하여 본 논문에서는 펄스 내 변조를 식별하는 방법을 기술한다. 특히 레이더 펄스 내 변조 형태 중, 다양한 주파수 변조 패턴을 가지고 있는 FM(Frequency Modulation) 계열의 변조 형태를 식별하는 방법과 식별에 활용되는 특징인자를 제안하는데 초점을 맞추고 있으며, 이렇게 제안된 식별 방법 및 특징인자는 MathLab을 통해 성능을 검증하였다.

## ABSTRACT

The modern Electronic Warfare Receivers are required to the current radar technologies like the Low Probability of Intercept(LPI) radars to avoid detection. LPI radars have features of intra-pulse modulation differ from existing radar signals. This features require counterworks such as signal confirmation and identification. Hence this paper presents a study on intra-pulse modulation recognition. The proposed method automatically recognizes intra-pulse modulation types such as LFM and NLFM using classifiers extracted from the features of each intra-pulse modulation. Several simulations are also conducted and the simulation results indicate the performance of the given method.

## 키워드

EW, LFM, NLFM, RMSE, Gini's Coefficient

## 1. 서 론

현대 무기체계들은 다양한 목적을 수행하는데 여러 종류의 레이더를 활용하고 있으며, 이는 곧 전자전 시스템이 대응해야 할 레이더의 종류가 과거에 비해 더욱 다양해지고 있음을 말한다[1]. 최근의 신형 레이더들은 펄스 도플러 레이더나 저 피탐 확률(LPI : Low Probability of Intercept) 레이더와 같이 주파수 변경, 암호화된 펄스의 사용, 그리고 운용모드별로 다른 신호특성을 갖춘

다중 운용모드의 다기능 레이더(Multi-Function Radar)로 발전하고 있다[2].

이러한 레이더에 대응하기 위해 개발된 국내 전자전장비는 펄스 간 변조특성 분석 및 식별에 있어서 우수한 성능을 보유하고 있으나 암호화된 펄스를 사용하는 최신 위협신호에 대한 식별 능력은 다소 미흡한 실정이다.

이에 본 논문에서는 다양한 주파수 변조 패턴을 가지고 있는 FM 계열(LFM, NLFM)의 변조 형태와 이를 식별하는 특징인자를 2장에서 설명

하고, 3장에서 제안한 연구 방법을 검증하며 4장에서 마무리 한다.

## II. 본 론

본 논문에서 제안하는 펄스 내 변조신호 식별 시퀀스는 [그림 1]과 같다.

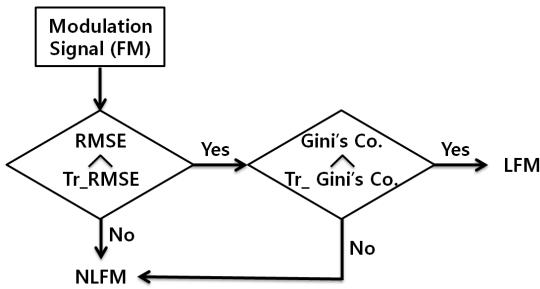


그림 1. 제안하는 펄스 내 변조 식별 시퀀스

### 2.1 FM(Frequency Modulation)

시간에 따라 변화하는 반송파 주파수를 가진 신호 형태를 주파수 변조(FM : Frequency Modulation) 신호라 하며, 아래에서 FM 계열의 2가지 형태인 LFM과 NLFM을 설명한다.

#### 2.1.1 LFM(Linear FM)

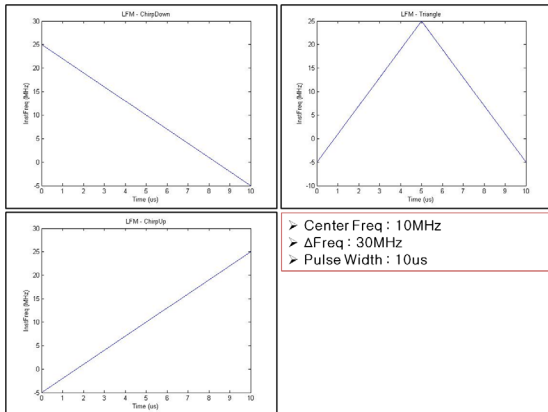


그림 2. LFM 형태의 순시주파수

LFM은 반송파의 주파수가 선형적인 변화를 가지도록 하는 변조 방식으로 [그림 2]에서와 같이 순시 주파수의 변화 모습이 Chirp-down, Chirp-up, Triangle과 같은 형태를 보인다.

#### 2.1.2 NLFM(Non-Linear FM)

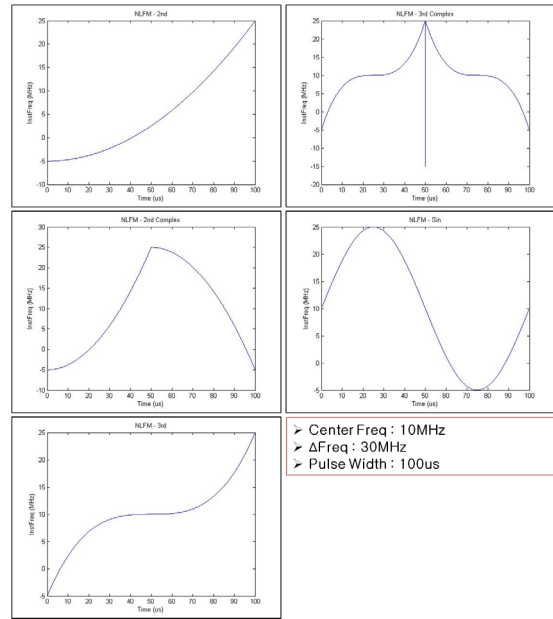


그림 3. NLFM 형태의 순시주파수

NLFM은 반송파의 주파수가 비선형적 변화를 가지도록 하는 변조 방식으로 [그림 3]에서와 같이 LFM에 비해 다양한 순시 주파수의 변화 모습을 볼 수 있다.

## 2.2 변조 식별 특징인자

### 2.2.1 RMSE(Root Mean Square Error)

RMSE는 관측에서 나타나는 오차를 제공하여 평균한 값의 제곱근을 뜻하며, 발생하는 추정 값과 실제 값 사이의 오차정도를 판별하는 데이터로 활용할 수 있다[3]. 본 논문에서는 RMSE를 활용하여 변조 신호의 순시 주파수 값의 오차정도를 판별하며, 이를 통해 FM계열의 변조신호를 식별한다. 아래 [표 1]은 이러한 과정을 단계별로 보여준다.

표 1. RMSE 산출 절차

순서	내용
1	PW를 N구간으로 분할하여 순시 주파수 값의 최대값과 최소값을 선별한다.
2	최소/최대값을 N구간의 양 끝 값으로 하여 선형적으로 증가하는 임의의 추정값을 선정한다.
3	모의한 변조 신호의 N구간 만큼의 순시주파수 값을 실제값으로 선정한다.
4	추정값과 실제값 사이의 RMSE를 산출한다.

이러한 절차는 특정 SNR 이하의 변조 신호들 중, 선형적으로 증가/감소하는 순시 주파수의 형태를 가지고 있는 LFM과 NLFM을 구분할 수 있도록 해준다.

2.2.2 지니 계수

지니 계수는 경제학에서 소득분포를 나타내기 위해 사용되는 개념으로 완전 평등선과 로렌즈 곡선 사이의 면적을 말하며, 본 연구에서는 지니 계수를 통해 순시주파수의 비선형 정도를 식별한다[4].

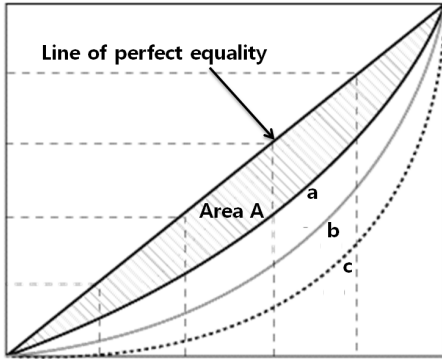


그림 4. 지니 계수

특정 신호의 순시주파수를 0 ~ 1로 정규화한 값을 y축, 특정 계급값을 x축으로 하는 히스토그램을 작성하고, 그 결과를 로렌즈 곡선으로 표현한 것이 [그림 4]의 a, b, c이다.

이후, 각 로렌즈 곡선과 완전평등선 사이의 면적인 지니계수를 산출한다. Area A는 로렌즈 곡선 a와 완전평등선과의 면적, 즉 지니계수를 의미하며 이러한 방법은 순시주파수가 선형적으로 증가/감소하는 LFM과 비선형적으로 증가/감소하는 NLFM의 차이를 식별할 수 있도록 한다.

III. 모의실험

제안한 연구방법의 성능을 검증하기 위한 신호 제원은 LFM(Chirp-up, Chirp-down)과 NLFM(2nd order Chirp-up, 3rd order Chirp-up)이며, 그 외 모의실험 파라미터는 [표 2]와 같다. 모의실험은 각 조건 당 15회 반복 수행하였으며, [표 2]에서의  $f_c$ ,  $\Delta f$ ,  $f_s$ , PW는 각각 중심 주파수, 주파수 변경 폭, 샘플링 주파수, 펄스폭을 의미한다.

표 2. 모의실험 파라미터

구분	내용
PW	10, 40, 80us
$\Delta f$	5, 10, 20, 30 MHz
$f_c$	10 MHz
$f_s$	80 MHz
SNR	5 ~ 40 dB

성능 검증 모의실험 결과는 [그림 5]에서와 같이 볼 수 있으며, 성능 검증 모의실험 대상 신호 식별 시, SNR 10 dB에서 96%, 15dB 99%, 20dB 이상에서 100%의 성능을 확인하였다.

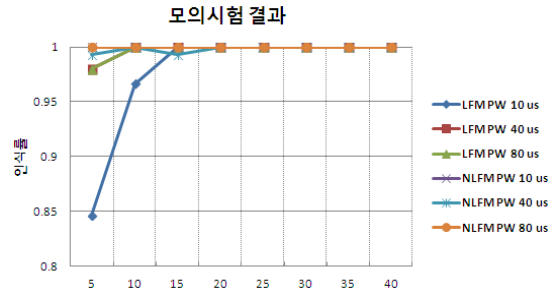


그림 5. 모의실험 결과

IV. 결론

본 논문에서는 FM 계열의 레이더 펄스 내 변조 형태를 식별하는 방법과 이에 활용되는 특징인자를 제안하였다. 그리고 다양한 펄스 폭, 주파수 변경 폭 등의 실험인자를 통해 제안한 방법을 검증하였다.

향후에는 FM 계열 이외의 펄스 내 변조 형태를 식별할 수 있는 방안에 대한 연구를 진행할 것이며, 나아가 모의 신호 실험이 아닌 실제 신호를 활용한 실험을 수행할 것이다.

참고문헌

[1] Singh, A. K., Subba, Rao., "Detection, Identification & Classification of Intra Pulse Modulated LPI Radar Signal using Digital Receiver", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 2, Issue 9, 2012

[2] 이영중, 김인선, 박주래, "레이더 인트라펄스 변조 신호 분석을 위한 디지털수신기", 한국군사과학기술학회지, 제 11권, 제4호, 2008

[3] Park, B. K., Song, K. H., Han, J. W., Lee, D. W., "Intra-pulse modulation recognition using feature-based decision tree method", IEEK Summer Conference pp.108-109, 2010

[4] You, K.J., Won, J.M., Shin, O.S., Han, Y.J., Kim, H.N., Song, K.H., Park, B.K. and Shin, H.C., "Radar Modulation Identification Using Gini's Coefficient", ICSEE, December 18-19, 2012