

레이더 시스템 성능평가용 가상 레이더 표적신호 발생장치

Simulated Radar Target Generation Equipment(SRTGE) for Evaluating Radar System Performance

양진모*
Yang, Jin-Mo

이민준*
Lee, Min-Joon

김환우**
Kim, Whan-Woo

ABSTRACT

In this paper, we have described a Simulated Radar Target Generation Equipment(SRTGE) for evaluating the performance of a developed radar system. In order to change a simulated target range(or time delay), the variable optical delay line structure is used in SRTGE. In addition, SRTGE is required to generate a target return signal which is composed of variable amplitude and Doppler velocity. The interference such as noise jamming and clutter is also produced from SRTGE for evaluating ECCM (Electronic-Counter-Counter Measure) capability of radar.

주요기술용어(주제어) : Radar(레이더), Simulated Target(모사표적), Coherency(코히런스), Variable Optical Delay-line(가변 광지연선), Doppler Frequency(도플러 주파수)

1. 머리말

개발된 레이더 시스템의 성능평가는 개발의 최종 검증단계로 실제 운용환경 조건에서 실패적과 클러터를 포함한 재밍 환경의 시험 평가를 통해 성능을 입증할 필요가 있다. 그러나 실패적을 이용한 시험환경에서 레이더를 시험하기란 비용 등을 고려했을 때, 현실적으로 어려움이 많다. 따라서 레이더 성능 평가를 위해 실제 환경을 모사할 수 있는 가상의 레이더 표적 반사 신호를 발생하는 장치가 필요하고, 가상의 표적은 레이더의 운용환경에서 나타나는 변수들을 모

사할 수 있어야 한다. 실패적과 유사한 가상의 표적은 표적의 기동에 의해 발생하는 도플러 변위, 표적과 레이더간의 거리변화에 의한 수신 전력의 변화와 시간지연, 표적의 레이더 단면적(RCS : Radar Cross Section) 및 재밍을 포함한 클러터 신호등의 정보들을 포함하도록 모사되어야 한다. 기존에 구현된 유사장비^[1]의 경우, 레이더의 성능평가 보다는 고정된 광신호 지연선을 이용하여 원거리에 있는 레이더 시스템의 보정(Calibration)을 위해 사용되었으며, 레이더 신호를 가변 하거나 도플러 변위의 주입 등 레이더의 시스템 성능을 평가하기에는 부적합하였다. 또한, 다양한 레이더 시스템의 성능시험을 위해서는 각각의 시스템마다 고유한 전기적 특성, 예를 들어, 송신 주파수 대역, 측정할 수 있는 표적의 도플러 범위 및 신호의 크기 변화 등을 가지고 있으므로 하나의 표적 발생장치로 여러 개의 시스템을 시험할 수 없는 단점

† 2008년 5월 2일 접수~2008년 6월 5일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 충남대학교(Chungnam National University)

주저자 이메일 : jmy1965@dreamwiz.com

이 있었다. 따라서 본 연구에서는 표적의 위치, 즉, 거리를 임의의 원하는 위치로 조정할 수 있도록 가변 광신호 지연선 개념을 적용하고 신호발생부의 안정된 국부 발진기를 레이더의 송신 주파수에 맞춰 변경함으로써 확장성을 갖는 새로운 개념의 표적 발생장치의 개발 내용을 기술하였다.

가상 레이더 표적 발생장치는 레이더로부터 송신된 초고주파 신호를 수신하여 도플러 변화, 신호 크기의 가변 및 크기와 정합된 시간 지연된 신호를 레이더로 재 송신함으로써, 레이더의 최대/최소 탐지거리 및 표적 속도 등의 시스템 성능을 평가할 수 있도록 개발되었다. 표적 발생장치는 크게 원격 제어부와 신호 발생부로 나뉘어져 있으며, 원격 제어부는 원거리에 설치된 신호발생부의 신호레벨 및 시간지연, 클러터 신호 On/Off, 재밍 신호 On/Off 등의 제어 및 하드웨어의 상태를 자체 점검하여 운용자에게 알려주도록 GUI를 이용하여 이동형 PC로 구현되었다. 신호 발생부는 실질적으로 표적신호를 모사하는 기능을 하도록 구성되어 있으며, 시간지연의 구현방법에 따라 하드웨어의 구성 차이가 있으나, 본 개발에서는 구현의 편리성 및 레이더 시스템과의 호환성, 비용 등을 고려하여 초고주파 신호를 안정된 국부 발진 신호(Local Oscillation Signal)로 1차 주파수 하향변환 후, 가변 광신호 지연 블록에 입력하여 원하는 표적의 위치를 설정한 후, 신호 가변 및 도플러 변위 주입 및 재송

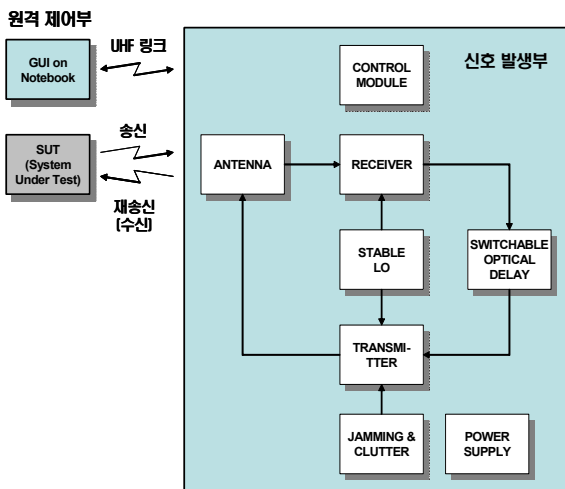
신을 위해 동일한 LO를 이용하여 주파수 상향 변환하여 레이더로 송신하는 구조를 가진다. 그림 1은 가상 레이더 표적 발생장치의 구성을 나타낸다.

본 논문은 2장에서 표적 발생장치의 구성 개념, 개발 규격에 대해 살펴보고 도출된 개발 규격을 바탕으로 설계된 하드웨어 구조 및 모듈별 기능 및 성능에 대해 논하였다. 3장과 4장에서는 가상 레이더 표적 발생장치의 자체 시험 결과 및 레이더 시스템 성능 평가 결과에 대해 살펴보고 5장에서 결론을 맺었다.

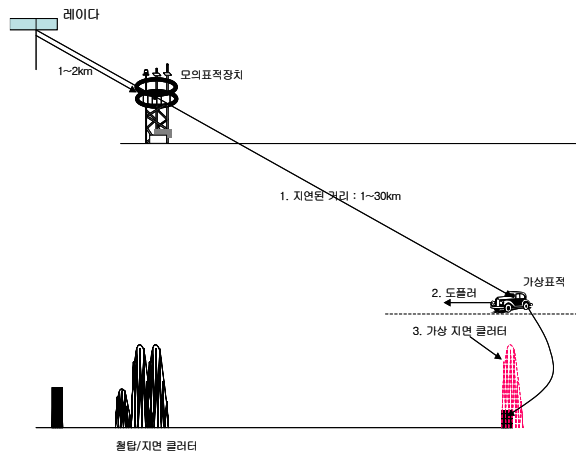
2. 가상 레이더 표적장치

가. 가상 레이더 표적 생성 개념

레이더에서부터 수신된 신호를 표적 발생장치가 수신하여 레이더의 시험에 적합하도록 신호를 가공, 생성하여 레이더로 되돌려주며, 이때 레이더는 지연된 시간과 검출된 파워 및 도플러의 양상으로 가상 목표물에 대한 거리, 속도, 방위에 대한 정보를 추출한다. 그림 2는 표적 발생장치를 이용하여 레이더를 시험하기 위한 운용 개념도를 나타낸다. 운영자는 발생하여야 하는 모의표적 정보를 사전에 이미 알고 있으므로 그에 따른 계산된 값(거리, 표적 신호의 크기 및 표적 도플러 정보 등)과 레이더의 측정값을 비교 분석함으로써 레이더를 보정할 수 있다.

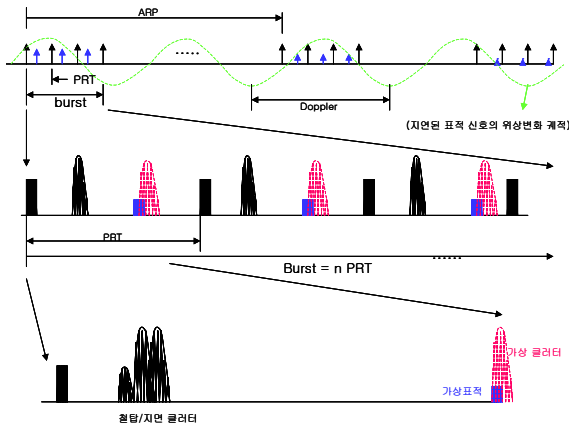


[그림 1] 가상 레이더 표적발생장치 구성도



[그림 2] 운용 개념도

그림 2에서 보는 바와 같이, 레이더로부터 이격된 거리에 장치된 표적 발생장치는 운용자로부터 입력된 각종 설정 값들을 이용하여 발생하여야 하는 표적의 거리(즉, 시간지연 량), 거리에 해당되는 표적 반사 신호의 크기, 표적의 종류에 따른 레이더 단면적 선택, 도플러 변위량들을 조정하여 원하는 표적신호를 생성한 후 레이더로 재전송한다. 표적 발생장치는 레이더의 송신 신호를 기준으로 모호하지 않은 거리(Unambiguous Range) 내에 원하는 표적 신호를 그림 3과 같이 생성할 뿐만 아니라 시험 조건에 따라 가상의 클러터 신호 또는 재밍 신호를 표적 부근에 동시에 생성할 수 있도록 구성되었다.



[그림 3] 가상표적 및 환경신호(클러터, 재밍) 생성 타임밍

[표 1] 가상 표적 발생장치의 주요 성능

전기적 특성	주요 성능	비 고
동작 주파수	X-대역	(레이더에 따라 변경)
송신 전력	10 ~ -50 [dBm]	60dB Range
수신 전력	> 0 [dBm]	
내역 스푸리어스	-45 [dBc]	
재밍 신호	광대역 / 협대역	
클러터 신호	30 [dB] 가변	

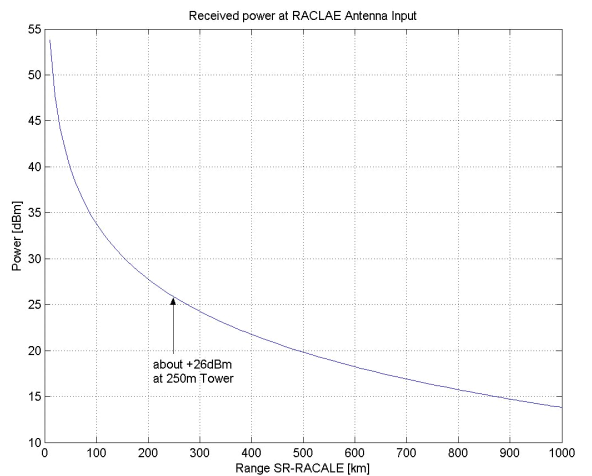
표 1은 개발된 표적 발생장치의 주요 전기적 특성을 나타낸다. 동작 주파수는 시험하고자 하는 레이더의 송신주파수 대역에 따라 변경이 가능하도록 장치의 전반부를 변경할 수 있으며, 재송신 전력의 범위는 -50dBm에서 +10dBm, 레이더로부터 수신하는 전력은 레이더와 표적 발생장치간의 신호 유입을 검출하기 위해서 적어도 0dBm이상 이어야 한다. 시간 지연 범위는 레이더의 운용 펄스반복 주기(PRI : Pulse Repetition Interval)에 의해 결정되며, 광지연 선(Optical Delay Line)에 의해 결정된다.

나. 수신전력

레이더 표적 발생장치가 레이더로부터 거리 R만큼 떨어진 지점에 위치하고 있을 때 레이더로부터 방사되는 송신전력이 레이더 표적 발생장치 안테나로 수신되는 전력을 P_r 이라 하면, 안테나를 통해 수신되는 전력은

$$P_r = \frac{P_{t(r)} \cdot G_{t(r)}}{4\pi R^2} \cdot A_e \quad (1)$$

여기서, $P_{t(r)}$ 은 레이더 송신출력, $G_{t(r)}$ 은 레이더 송신 안테나 이득, A_e 는 레이더 표적 발생장치의 안테나 유효면적을 나타낸다. 그림 4는 표적 발생장치와 레이더간의 설치 거리에 따른 수신 전력을 나타낸다.



[그림 4] 설치거리에 따른 수신전력

다. 레이더 표적 발생장치 최소 송신 전력

레이더 표적 발생장치에서 수신된 레이더의 신호를 표적 처리 후 다시 레이더로 재송신할 때 레이더의 최소 수신 가능 신호 레벨에서 표적이 탐지될 수 있도록 하기 위해서 레이더 표적 발생장치에서의 최소 송신전력을 계산하여야 한다. 이때, 레이더 표적 발생 장치의 송신 안테나는 수신안테나와 동일한 하나의 안테나를 이용한다.

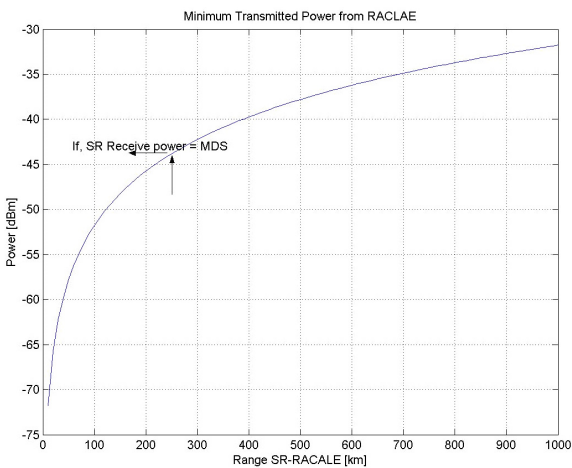
$$P_{t(\min)} = \frac{P_{r(r)} \cdot L_{stc} \cdot (4\pi R)^2}{G_t \cdot G_{r(r)} \cdot \lambda^2} \quad (2)$$

여기서, $P_{r(r)}$ 은 레이더의 최소 탐지 신호레벨(MDS : Minimum Detectable Signal), G_t 는 레이더 표적 발생장치 송신 안테나 이득, $G_{r(r)}$ 은 레이더 수신 안테나 이득, L_{stc} 는 레이더의 STC값을 나타낸다.

라. 레이더 표적 발생장치의 이득 계산

레이더 표적 발생장치 안테나에서의 수신전력(식 (1))과 레이더 표적 발생장치의 최소 송신전력 계산 결과(식 (2))로부터 레이더 표적 발생장치 내부의 증폭도(Gain)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Gain = P_{t(\min)} - P_r \quad (3)$$

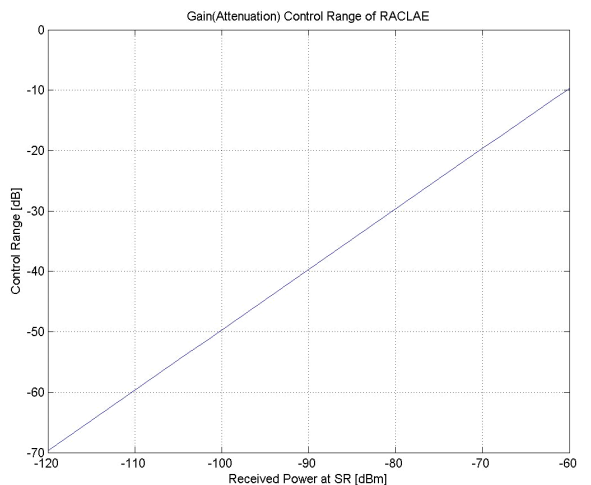


[그림 5] 레이더의 MDS에 따른 가상표적 발생장치의 최소 송신 전력

레이더 표적 발생장치의 송수신 안테나의 이득이 동일하다고 가정하면 레이더 표적 발생장치의 최소 증폭도는 -70dB이상이면 레이더에서 신호의 탐지가 가능하다. 원격거리에 표적 발생장치가 설치될 상황과 근접거리에 설치될 상황을 고려하여 송수신 전력을 조정하기 위해 가변감쇄기를 이용하여야 한다.

마. 레이더-레이더 표적 발생장치 코히런트 유지 및 광지연선에 의한 시간지연 조정

이격된 레이더와 레이더 표적 발생 장치간 코히런트 시(Coherency)를 유지하는 것은 레이더의 관점에서 모순일 수 있으나, 레이더로부터 송신된 신호가 가상 표적에 대한 정보(거리에 따른 신호크기 변화/시간 지연 및 이동에 의한 도플러 주파수 추가)만을 가지도록 생성해야 하므로, 표적 발생장치의 하드웨어에 의한 영향은 없어야 한다. 초고주파 대역의 신호에 대한 시간지연을 구현하기 위한 방법으로 두 가지 경우를 생각할 수 있다. 첫째는 초고주파 신호를 주파수 변환 없이 직접 광신호로 변환하여 시간지연을 주는 방법과 다른 하나는 주파수를 IF대역으로 변환하여 광전 변환 후 시간 지연한 다음 송신이 가능한 초고주파 대역으로 주파수 상향 변환하는 방법이 있다. 첫 번째 방법은 광전-전광 변환하는 과정에서 광 다이오드(Photo Diode)의 특성이 초고주파 대역에서 저하되기 때문에 손실이 커지므로 추가



[그림 6] 신호 크기 조정 범위

적인 신호 증폭이 필요하고 비용이 많이 드는 단점이다. 반면에 IF단에서 처리하는 방법은 가용한 부품이 상대적으로 많고 레이저 다이오드 및 광 다이오드를 이용한 광전-전광 변환기 구현 용이한 장점이 있다. 그러나 주파수 하향-상향 변환 과정에서 매우 안정한 국부 발진기(Local Oscillator)를 사용하여야만 레이더로부터 수신한 신호에 원하는 정보(거리, 신호크기 및 도플러 인가)만이 추가된 가상 표적신호를 생성할 수 있다. 이와 같은 과정은 다음과 같이 간략하게 모델링하여 그 영향을 분석하였다.

입력신호와 출력신호 및 발진기의 주파수 성분을 각각 f_2, f_5, f_1 라 하자. 발진기의 신호는 위상 잡음을 갖는 CW신호이며, 협대역 FM(Narrowband FM)으로 표현할 수 있다^[2]. 시간지연 τ 에 따른 입력, 출력 주파수 변화량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

발진기의 출력 주파수,

$$f_1 = f_{osc} + \eta f_m \cdot \cos(2\pi f_m t) \quad (4-a)$$

Down-converting 후,

$$f_3 = f_2 - f_{osc} - \eta f_m \cdot \cos(2\pi f_m t) \quad (4-b)$$

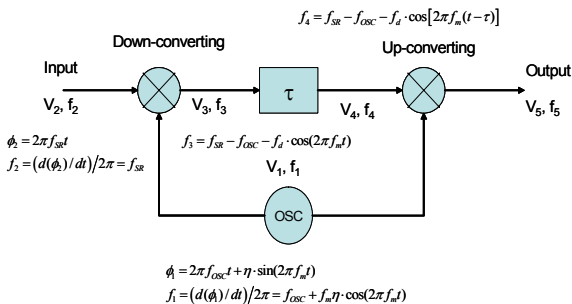
시간지연(τ)를 거친 후,

$$f_4 = f_2 - f_{osc} - \eta f_m \cdot \cos(2\pi f_m (t - \tau)) \quad (4-c)$$

Up-converting 후,

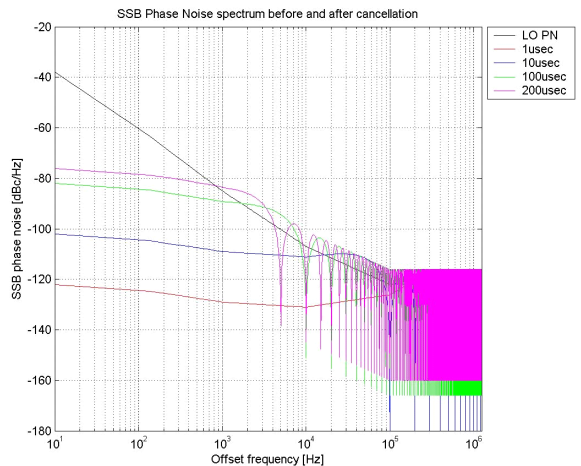
$$f_5 = f_4 - f_1$$

$$f_5 = f_2 + \eta f_m \cdot \sqrt{K^2(\omega_m)} \cdot \cos(2\pi f_m t + \beta) \quad (4-d)$$



[그림 7] 주파수 상향-하향 변환 과정

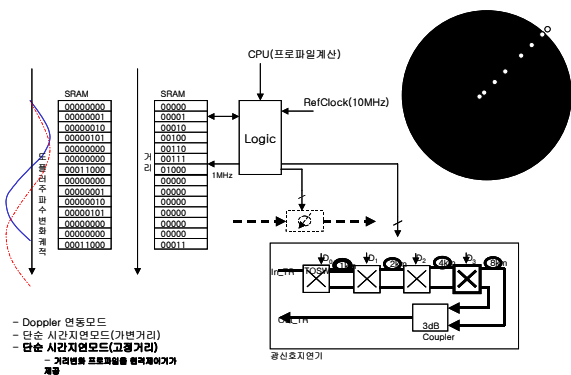
위의 결과에서 레이더로부터 입력된 신호의 주파수 f_2 는 주파수 하향변환 및 시간지연을 거치고 다시 주파수 상향변환을 거치면서 $\eta f_m \cdot \sqrt{K^2(\omega_m)} \cdot \cos(2\pi f_m t + \beta)$ 만큼의 주파수 성분이 추가된다. 추가적인 위상성분은 레이더에서 송신된 신호가 갖고 있는 위상잡음에 직접적인 영향을 미치게 되며, 그 영향은 시간지연에 의해 결정된다. 그림 8은 시간지연의 변화에 따라 중심주파수로부터 일정하게 떨어진 Offset 주파수 영역에서 위상잡음의 영향을 나타낸다. 시간지연이 길어질수록 주파수 하향-상향 변환과정에서 사용된 발진기의 위상잡음 성분이 출력 주파수 성분에 상대적으로 많이 나타남을 예상할 수 있다. 초고주파 대역의 국부 발진기를 생성하기 위해 주파수 안정성이 높은 PLDRO(Phase-Locked Dielectric Resonant Oscillator)를 사용하여 발진기의 위상잡음에 의한 영향을 최소화할 수 있다.



[그림 8] 시간지연에 따른 LO의 위상잡음 영향

레이더 표적 발생장치의 시간지연 구현 방법에 따라 초고주파 대역 신호를 발진기를 이용하여 IF단으로 주파수 하향 변환한 후 전광변환기-광 지연선(Optical Delay Line)-광전 변환기의 과정을 거쳐 원하는 시간 지연량을 구현할 수 있다. 전광변환 과정은 레이저 다이오드를 이용하여 전기신호를 광으로 변환하여 빛의 직진성을 이용하여 가변 시간 지연선을 이용 원하는 시간 지연량을 얻을 수 있다. 이때, 자유공

간에서의 초고주파 신호의 시간 지연량과 Fiber내에서의 광신호의 지연량은 1.5배의 차이를 가지기 때문에 초고주파 신호의 시간 지연량을 구현할 때, 비례상수로 1.5를 고려하여 계산되어야 한다. 또한 시간 지연선에 의한 광신호의 세기 감쇄 특성을 고려하여 거리에 따른 가상 표적신호의 세기를 룩업 테이블 형태로 계산하여 신호 발생시 제어하도록 해야 한다. 그림 9는 가변 시간 지연선을 이용한 거리 및 도플러 변위 구현 개념을 나타낸다.



[그림 9] 가변 시간 지연선에 의한 거리-도플러 생성 방법

바. 주파수 플랜

레이더 표적 발생장치내의 주파수 플랜은 국부 발진기의 발진 주파수, 레이더로부터 입력되는 신호의 주파수 대역 및 재송신되는 신호의 주파수 대역과 전광 변환기-광전 변환기의 레이저 다이오드와 광 다이오드의 주파수 특성을 고려하여 선택되어야 한다. 또한 신호의 세기를 조절할 수 있는 가변 감쇄기 및 도플러 주파수를 생성하기 위한 위상 변위기의 주파수 대역을 고려해야 한다.

- 송수신 주파수 대역 : X-대역
- 국부 발진기 주파수 : X-대역 단일 주파수
- 전광-광전 변환기 : DC ~ 수 GHz

구현의 편리성을 고려하여 IF단 주파수는 1~2GHz 대역으로 선택하였다.

사. 도플러 변위

레이더는 표적으로부터 반사된 신호의 세기를 측정하여 레이더로부터 표적까지의 거리를 측정할 뿐만 아니라, 표적의 속도 정보를 추출하기 위하여 도플러 필터링을 수행한다. 따라서 레이더 표적 발생장치는 생성하는 표적에 대해 거리 및 시간에 따른 거리의 변화, 즉 속도 성분을 모두 제어할 수 있어야 한다. 기동하는 표적의 도플러 주파수는 레이더의 송신 주파수에 의해 결정되며, 그림 3에서 보는 바와 같이 표적의 속도에 따라 일정한 주파수를 갖는 신호가 표적 신호의 위상변화로 나타나게 된다. 아래 식은 도플러 주파수와 표적의 기동속도 및 레이더 주파수간의 관계를 나타낸다.

$$f_{doppler} = -\frac{2\dot{R}}{\lambda} = -\frac{2v}{c} \cdot f_{tx} \quad (5)$$

여기서, v 는 표적의 기동 속도를, f_{tx} 는 레이더의 송신 주파수를, c 는 광속도를, ‘-’는 표적이 레이더로 접근함을 의미한다.

도플러 변위 범위는 관측하고자 하는 표적의 속도 조건과 레이더의 펄스 반복 주기(PRI)에 따라 결정되며, 도플러 변위 간격은 표적 속도에 따라 결정된다. 만약 빠른 속도를 갖는 표적을 생성한다면, 고정된 펄스 반복 주기에 대해 위상 변화량이 낮은 속도를 갖는 표적에 대해 상대적으로 크게 변화해야 한다.

아. 클러터와 재밍신호 생성

레이더로 수신되는 신호는 표적으로부터 반사되는 신호 이외에 주변 환경으로부터 원치 않는 신호들까지 수신하므로 레이더의 입장에서 이러한 외부 간섭 요인들을 제거하고 표적 신호만을 처리할 수 있어야 한다. 외부 간섭의 요인들은 크게 재밍 신호와 같은 인위적인 신호와 산, 지면 또는 구름이나 해면으로부터 반사되어 입력되는 클러터 등이 있다. 레이더의 중요한 성능 중 하나는 이러한 외부 간섭으로부터 표적을 얼마나 효율적으로 처리하여 구분할 수 있는지 나타내는 기준이 있으며, 이를 표적 탐지 확률로 나타낸다. 표적 탐지 확률은 SNR과 오경보 확률의 함수로 주어지며, 레이더의 중요한 성능지표이며, 또한

레이더 설계의 첫 번째 요구조건이다. 클러터 신호는 종류에 따라 여러 가지 형태로 모델링 되며, 가장 쉽게 구현할 수 있는 방법으로 위상잡음 특성이 덜 우수한 연속차(CW) 신호원을 이용할 수 있다.

클러터 신호 이외에 또 하나의 외부 간섭으로 인위적으로 생성된 재밍 신호를 들 수 있다. 재머(Jammer)는 현대 전자전의 핵심으로 레이더를 교란하기 위한 장치이다. 재밍 신호는 채프, 협대역 또는 광대역 잡음과 같은 수동 재밍(Passive Jamming)과 RGPO, VGPO와 같은 능동 재밍(Active Jamming)으로 나눌 수 있으며, 가장 일반적이면서 저렴하고 쉽게 구현이 가능한 잡음 재머를 많이 이용한다.

3. 가상 레이더 표적 발생장치의 구성

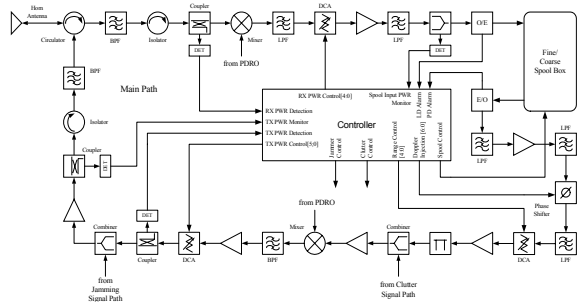
레이더 표적 발생장치는 신호를 처리하기 위해 크게 네 가지 부분으로 나누어 구성된다.

- 주경로(Main path) : Antenna, Transmitter 및 Receiver
- 클러터 및 재밍신호 주입 : Jamming and Clutter
- 가변시간지연 : Switchable Optical Delay
- 국부 발진 신호 생성 및 분배 : Stable LO

가. 주경로

주경로는 레이더 신호를 수신하여 원하는 정보를 주입한 후 재송신하는 경로로 안테나로부터 들어온 수신 신호는 커플러의 커플링 포트를 통해 검출기, 비교기를 통한 TTL변환 과정을 거쳐 표적 발생장치 전체의 트리거 신호를 생성한다. 결합기(Coupler)의 메인 포트를 통과한 수신 신호는 믹서를 통하여 하향변환이 되며, IF 대역에서 감쇄와 증폭 과정을 거쳐 전광변환기 입력에 적절한 파위로 조절된다. 전·광변환기를 통해 광신호로 변환된 RF 신호는 시간지연을 위해 적절한 길이의 광섬유를 통과하고 다시 광·전 변환되어 RF 신호로 변환된다. 변환된 RF 신호는 도플러 정보를 주입하기 위해 위상 변위기(Phase Shifter)를 통과하며 증폭과 감쇄를 통해 재송신된다.

그림 10은 주경로(Main path)의 구성을 나타낸다.

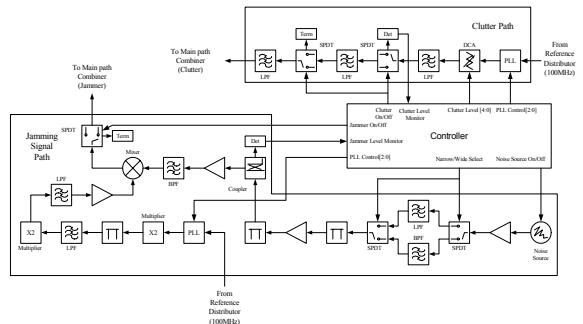


[그림 10] 주경로 블록도

나. 클러터 및 재밍신호 주입

그림 11은 클러터 및 재밍신호 생성부로 클러터 신호는 CW 형태로 생성되고 30dB 신호 조정폭을 가진 DCA(Digital Controlled Attenuator)를 통해 CSR(Clutter Signal Ratio)레벨을 조절할 수 있다. 클러터 신호는 On/Off가 가능해야 하므로 두 개의 스위치를 통하여 신호의 격리도를 높였다. 클러터 신호는 Power Combiner를 통해 송신신호와 합쳐진다.

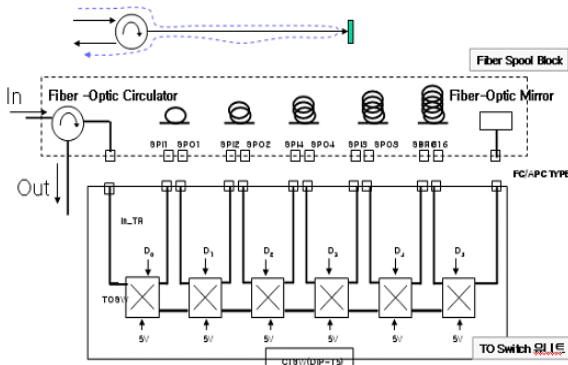
재밍신호는 대역폭이 수 십MHz인 협대역 재밍과 수 백MHz인 광대역 재밍을 명령에 따라 생성한다. 노이즈 소스로부터 발생된 재밍신호는 필터 뱅크를 통해 협대역 혹은 광대역으로 선택되고 선택된 재밍 신호는 독립된 반송파 신호를 통하여 상향 변환된다. 증폭과 감쇄과정을 통하여 적절한 신호-대-잡음비(SNR)를 유지한 재밍 신호는 주경로의 RF 송신단 Power Combiner를 통하여 레이더 Main 신호와 합쳐져 송신된다.



[그림 11] 클러터 및 재밍신호 생성 블록도

다. 가변 광지연선

가변 광지연선은 개발된 가상 레이더 표적 발생장치의 성능을 결정하는 핵심부분으로 그림 12에서 보는 바와 같이 1, 2, 4, 8, 16, 20, 25km의 광섬유 블록과 MEMS형 광스위치로 구성된다. 광으로 변환된 전기신호(RF 신호)는 생성하고자 하는 거리에 따라 선택된 스위치 조합들을 통해 광섬유 블록을 통과한 후 최종단에 위치한 광미러에 의해 반사되어 동일한 되돌아오게 된다. 광미러에 반사되어 되돌아온 광신호는 광-전 변환기를 통해 전기신호로 변환되며, 제작된 광지연선의 최소분해능은 5μsec 이다. 광신호는 전기신호와 달리 단방향성을 가지므로 시간적으로 입력된 광신호와 반사되어 되돌아오는 광신호간의 간섭은 없게 된다.

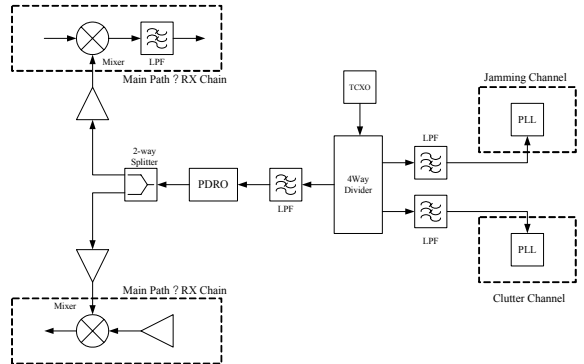


[그림 12] 가변 광지연선 구성

라. 국부 발진 신호 생성 및 분배

레이더는 긴 탐지 거리와 정밀한 해상도를 가져야 하므로, 레이더 자체의 발진기 위상잡음 특성은 매우 우수해야 한다^[3,4]. 표적 발생장치는 이러한 레이더의 요구사항에 적합하도록 위상잡음 특성이 우수한 TCXO를 기준 주파수로 사용하였으며, 기준주파수 신호의 위상잡음 특성을 유지할 수 있는 PLDRO를 이용하여 자체 국부발진 신호를 생성하였다. 또한 주 경로 상에 수신단으로 부터 송신단으로의 LO 누설(Leakage)를 통한, Zero Time Delay 신호의 재송신을 막기 위하여 LO신호를 Power Divider를 통해 분주한 후 S₂₂ 특성이 우수한 증폭기를 양 포트에 두었다. 상대적으로 위상잡음 특성과 무관한 제밍 채널의

경우 LO신호로 위상잠금루프(PLL)을 사용하여 낮은 주파수를 생성한 후, 주파수 체배를 통하여 반송파 주파수를 구현하였다. 그림 13은 국부 발진 신호 생성부의 블록도를 나타낸다.



[그림 13] 국부발진 신호 생성부 블록도

마. 레이더 가상 표적 발생장치

그림 14는 개발된 레이더 가상 표적 발생장치를 나타낸다. 표적 발생장치는 시험환경에 따라 설치가 용이하도록 19인치 표준 크기를 갖도록 기구적으로 설계되었으며, 사용된 소자들의 발열량과 소모전력을 고려하여 전원모듈의 용량을 결정하고 방열이 쉽게 될 수 있도록 제작되었다.

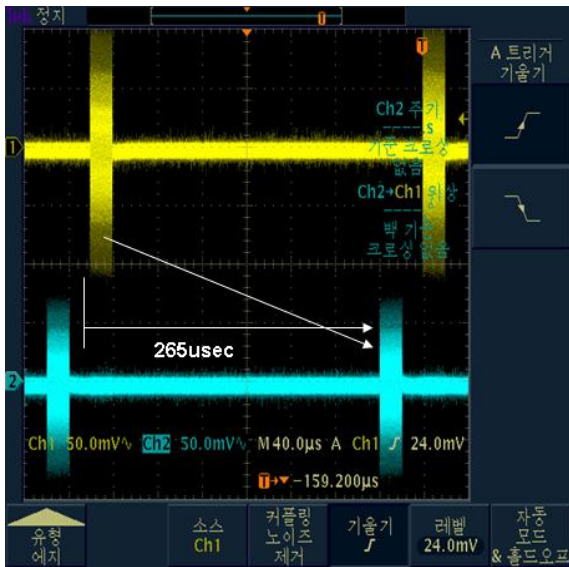


[그림 14] 구현된 가상 레이더 표적 발생장치

표적 발생장치는 14개의 모듈로 구성되었으며, 주경로의 전단 부분만을 교체함으로써 다른 주파수 대역을 사용하는 레이더의 시험에 적용이 가능하도록 설계되었다.

4. 시험 결과

구현된 가상 레이더 표적 발생장치의 핵심 기능은 원하는 거리, 즉 시간지연 위치에 표적신호를 생성할 수 있는지 여부이며, 가상으로 생성된 표적의 위치(거리)는 레이더의 방사시간 또는 한 빔 내에서 흔들림이 없어야 한다. 또한, 전체 공간을 탐지하는 회전형 안테나를 가진 탐색레이더에서는 레이더가 표적 발생장치의 LOS(Line-Of-Site)에 머무는 동안 동일한 위치의 표적을 생성할 수 있어야 한다. 그림 15는 266 μ sec 시간 지연된 후, 표적 발생장치에서 생성된 표적 신호의 측정 결과를 나타낸다. 노란색 신호는 레이더에서 방사되어 주경로의 전력 검파기를 통해 측정된 신호이며, 하늘색 신호는 266 μ sec 시간지연 후 송신 경로의 전력 검파기에서 측정된 재송신 신호를 나타낸다.

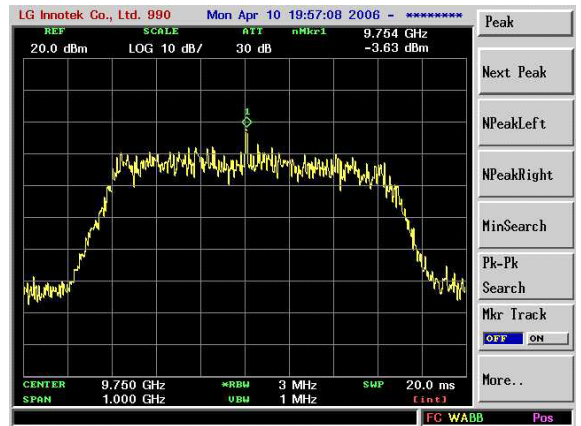


[그림 15] 가변 광지연선의 시간지연 성능

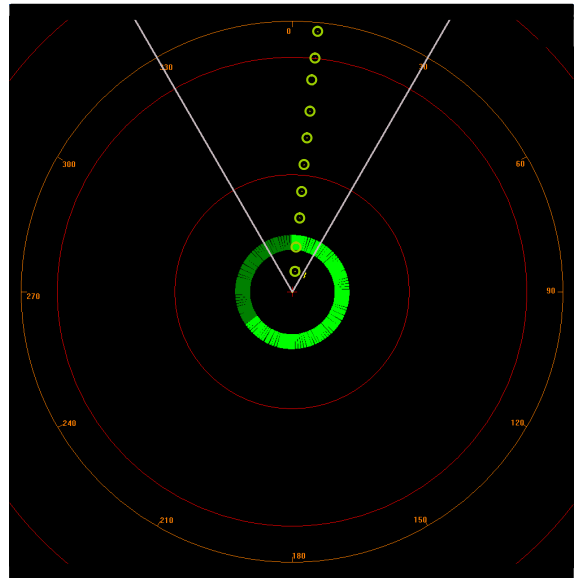
2장에서 분석된 바와 같이 가상 레이더 표적 발생장치는 입력된 레이더 신호를 전기적으로 손상하지 않은 상태에서 표적신호의 크기 조정, 시간지연 및 도플러 주파수를 인가할 수 있어야 하므로, 표적 발생장치의 주파수 상향-하향변환 과정에서 사용된 LO의 위상잡음에 의한 영향이 최소화되어야 한다. 코히

런스 특성은 인가된 CW신호를 I/Q 신호로 분리한 후, I-Q 다이어그램상에 나타난 신호특성을 분석하였다. 사용된 I-Q검파기의 특성을 고려했을 때, 가상 표적 발생장치의 LO 신호는 레이더 신호의 코히런스 유지에 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

레이더는 표적신호뿐만 아니라 재밍과 같이 외부의 간섭으로부터 표적을 탐지 및 추적할 수 있어야 한다. 그림 16은 가상 표적 발생장치에서 생성된 표적



[그림 16] 광대역 재밍 출력 스펙트럼



[그림 17] 가상 표적장치를 이용한 레이더 표적 탐지 시험 화면

신호와 광대역 재밍 신호 ON시 출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림 17은 가상 레이더 표적 발생장치를 이용하여 레이더의 표적 탐지 특성을 시험한 결과이다. 그림에서 작은 점은 표적의 위치를 나타낸다. 표적은 최대 도플러 변위를 갖고 레이더로 접근하도록 설정되었으며, 설정된 방사구역 내에서 표적의 탐지가 원활히 됨을 알 수 있다.

5. 맺음말

개발된 레이더 시스템의 성능(탐지성능, 탐지거리 및 표적속도, 대전자전 능력 등)을 시험하고 분석하기 위해 레이더에서 방사된 신호를 이용하여 실제 표적과 유사한 특성을 갖는 가상의 표적 신호를 생성할 수 있는 가상 레이더 표적 발생장치의 개념 및 구현 결과에 대해 논하였다. 기존의 유사장비는 고정된 위치에 단일 표적 신호만을 생성할 수 있으므로 레이더의 성능시험평가 보다는 보정을 위한 장비로, 가변 특성을 갖는 표적을 생성할 수 없는 단점이 있다. 본 논문에서 제안된 표적 발생장치는 가변 광지연선 구조를 이용하여 표적을 원하는 위치(거리)에 임의로 형성할 수 있으며, 가변감쇄기와 LUT(Look-Up Table)을 이용하여 거리와 레이더 유효 단면적 특성에 정합된 표적 반사 신호 크기를 제어할 수 있을 뿐만 아니라 표적의 기동특성을 주입하기 위해

위상변위기를 이용하여 도플러 주파수를 인가할 수 있도록 구현되었다. 또한, 표적의 탐지 성능과 더불어 별도의 채널을 이용하여 클러터 및 재밍과 같은 외부간섭 신호를 생성하여 표적 신호와 함께 재송신함으로써 레이더의 대전자전 능력을 시험할 수 있도록 구성하였다.

레이더 성능평가를 위한 표적생성과정 및 코히런스 유지능력, 광/협대역 잡음 재밍 특성들을 측정하여 설계 개념 및 설계치와 일치함을 확인하였고 레이더와의 연동시험을 통해 레이더 성능평가에 적합하도록 제작, 구현되었음을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Naval Sensor Calibration Systems, Fredwal Inc. <http://members.aol.com/Fredwalinc>.
- [2] S. J. Goldman, Phase noise analysis in Radar Systems Using Personal Computers, Wiley, 1989.
- [3] M. Skolnik, Radar Handbook, 2nd Ed. McGraw-Hill, Chap. 15.
- [4] Z. Galani and R. A. Campbell, "An Overview of Frequency Synthesizers for Radars", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 39, No. 5, pp. 782~790, May 1991.