

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.133>  
JIIBC 2020-2-18

# 고해상도 펄스 레이더에서 고정밀 거리 지연 인식 및 생성 방법

## Method for Recognition and Generation of High Precision Range Delay in High Range Resolution Pulse Radar

홍영곤\*, 김상호\*\*, 김윤진\*, 우선걸\*, 이만희\*, 안세환\*, 김홍락\*

Young-Gon Hong\*, Sang-Ho Kim\*\*, Yoon-Jin Kim\*,  
Soen-Koel Woo\*, Man-Hee Lee\*, Se-Hwan Ahn\*, Hong-Rak Kim\*

**요약** 본 논문에서는 고해상도 거리분해능을 가지는 펄스 레이더에서의 고정밀 거리 인지 및 생성 방법에 대해서 다룬다. 레이더의 목표한 거리분해능을 테스트를 위해서 점검장비를 이용하는데 이때 설계한 거리분해능 이하의 거리를 정확히 인지하고 발생시켜야 한다. 이때 발생하는 거리 정확도는 일반적으로 시스템 기준 클럭(clock) 주파수에 비례한다. 하지만 종래의 방법은 기준 클럭 타이밍을 트리거(trigger)하고 발생시는 프로세서의 입력 기준 클럭이 한계가 있고 설령 이러한 칩이 있다할지라도 매우 고가이다. 이를 해결하기 위해 일반적인 프로세서에서 범용적으로 적용 가능한 위상 변위 합성을 이용한 거리 신호 생성 방법과 구조를 제시하였다. 제안하는 방법을 이용하여 모의 실험을 진행하였으며 종래에 방법에서 발생하는 문제점을 완전 제거하는 결과를 확인하였다.

**Abstract** We discuss the method of a high precision range trigger and generation for a high range resolution radar. To verify the designed range resolution performance, we use test-equipments which can absolutely make a precision range shorter than the desined range resolution. The accuracy of generated range is proportional to the system reference clock. However, the system main processor is limited to input reference clocks and a higher available one is expensive in the conventional method. To solve this problem, we proposed that the range trigger and generation method using multi-phase-shiftings and integration. Through a experiment, we verified that the proposed method made problems which can be ocurred in the conventional method clear.

**Key Words** : FMCW, high range resolution, intergrated phase-shift, trigger

### 1. 서 론

최근 레이더는 복잡한 환경에서의 정확한 표적 탐지/분류/추적을 위해 고해상도 거리분해능을 가지는 파형을

탐재하여 개발되는 추세이다<sup>[1][2][3]</sup>. 고해상도 거리분해능은 일반적으로 파형의 주파수 대역폭(Frequency Bandwidth)에 비례해서 좋아지며, 대표적인 파형으로는 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave)

\*정회원, LIG 넥스원(주)

\*\*정회원, 제이랩스(주)

접수일자 2020년 1월 10일, 수정완료 2020년 2월 23일

게재확정일자 2020년 4월 3일

Received: 10 January, 2020 / Revised: 23 February, 2020 /

Accepted: 3 April, 2020

\*Corresponding Author: yg.hong@lignex1.com

RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

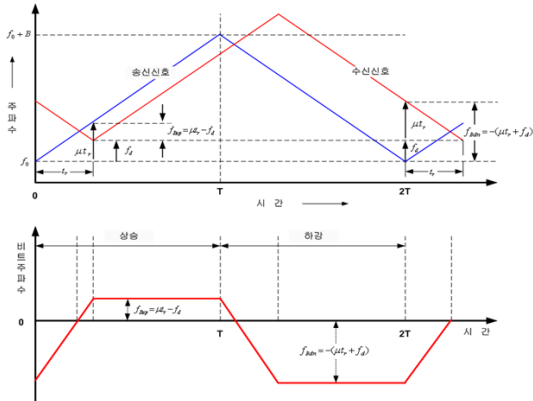


그림 1. 삼각파 FMCW 송/수신 신호 및 비트주파수  
Fig. 1. Saw-tooth FMCW Tx/Rx Signals and beat frequencies.

가 있다. 일반적으로 이러한 형태의 파형을 운용하는 레이더는 많게는 수 미터 적게는 수 센티미터 정도의 해상도를 가진다<sup>[2][3][4]</sup>.

이러한 추이에따라 FMCW를 이용한 고해상도 파형 생성, 신호처리 관점에서의 거리 분해능 향상, 모호성 제거 또는 연산량 감소 등의 다양한 형태의 연구가 활발히 진행되고 있지만<sup>[5]</sup>, 설계된 파형 운용을 통한 최소 구별 가능한 거리 차이를 정확히 발생하고 추출하기 위한 가장 기본적인 중요한 연구는 상대적으로 미흡한 상태이다.

주파수 대역폭을 시스템 허용범위 내 가능한 한 많이 사용하거나 또다른 방법으로 고해상도 거리분해능을 가지는 파형을 설계했다 하더라도 그 설계한 해상도 만큼 정확히 발생시키고 인지할 수 없다면 정확히 테스트 할 수 없을 뿐아니라 심각하게는 시스템 성능과 동 떨어진 결과를 야기하게 되어 설계한 거리분해능 성능을 올바르게 구현했다고 할 수 없다.

본 논문에서는 앞서 언급한 문제를 해결하기 위해 고해상도 펄스 레이더 시스템의 고정밀 거리 트리거 및 발생 방법에서 대해서 다룬다. 간단하게 고해상도 거리분해능을 가지는 대표적인 파형인 FMCW 레이더의 원리에 대해서 살펴보고 종래의 거리 트리거 및 추출 방법의 한계에 대해서 알아본다. 결론적으로 종래 방식을 극복하기 위한 위상변위 합성을 이용한 거리 트리거 및 발생 방법을 제시하였으며, 제시한 구조의 성능을 모의실험을 통해 확인하였다.

## II. FMCW 레이더의 원리

FMCW 레이더는 표적의 거리와 속도를 추출하기 위해서 주파수 변조 연속 신호를 송신한다. 그림 1은 삼각파 FMCW의 송신 신호, 수신 신호 및 비트 주파수를 나타낸다. 송신 신호는 식 (1)과 같다.

$$\begin{cases} f_{tx}^{up}(t) = f_{\min} + \mu t \\ f_{tx}^{down}(t) = f_{\max} - \mu t \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $f_{\min}$ 는 최소주파수,  $f_{\max}$ 는 최대주파수이다.  $\mu = \frac{B}{T}$ 로 주파수 변조 기울기를 말하며,  $B$ 는 전체 순시 대역폭,  $T$ 는 스위칭 주기를 의미한다.  $f_{\min}$ 과  $f_{\max}$ 는 중심주파수  $f_c$ 와 관계는 식 (2)와 같다.

$$f_c = f_{\min} + \frac{B}{2} = f_{\max} - \frac{B}{2} \quad (2)$$

일반적으로 FMCW 파형을 운용하는 환경은 표적 기동, 레이더 기동 등의 외부 환경 변화로 FMCW 파형 송신/수신 신호 운용 구간 동안 거리와 도플러 주파수가 변하지만, 본 논문에서는 획득한 신호를 이용한 거리 지연 파형 발생 및 그 신호의 획득에 관심을 가지므로 고정 표적으로 가정하고, 주파수에 따라 비례하는 도플러 주파수 또한 스위칭에 따르는 변화량이 없다고 가정한다.

송신한 신호로부터 반사된 수신 신호를 획득하고 국부 발진기를 이용하여 하향변환하면 그림 1 하단의 비트 주파수를 획득하게 되고 이는 식 (3)과 같다<sup>[4]</sup>.

$$\begin{cases} f_b^{up} = f_r - f_d = \frac{2\mu}{c} R - \frac{2f_c}{c} V_c \\ f_b^{down} = -(f_r + f_d) = -\frac{2\mu}{c} R - \frac{2f_c}{c} V_c \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $f_r$ 은 표적과의 거리 차이에 의해 발생하는 주파수 성분을 의미하고,  $f_r = \mu t_r$ 으로 빛의 속도( $c$ )를 가진 전파가 레이더와 표적간의 왕복거리( $R$ )를 움직이는 시간과 주파수 변조 기울기와의 곱이다.  $f_d$ 는 표적의 속도 성분으로 발생하는 도플러 주파수로  $f_d = \frac{2f_c}{c} V_c$ 이며, 여기서  $V_c$ 는 레이더와 표적과의 상대속도를 의미하며, 송신 주파수는 중심 주파수  $f_c$ 로 가정하였다.

식 (3)의 상승, 하강 비트 주파수를 조합하여 표적의 속도와 거리를 산출할 수 있고 식 (4)와 같이 정리된다.

$$\begin{cases} R = \frac{c(f_b^{up} - f_b^{down})}{4\mu} \\ V_c = -\frac{c(f_b^{up} + f_b^{down})}{4f_c} \end{cases} \quad (4)$$

즉, 삼각파 FMCW 파형 운용 시 상승/하강 구간의 수신 비트 주파수를 추출하면 표적의 거리( $R$ )과 속도( $V_c$ )를 추출할 수 있다.

### III. 종래의 거리 추출 및 발생

레이더는 안테나를 통해 신호를 방사하고, 방사된 신호가 표적에 반사되어 수신되는 신호를 감지하여 표적의 위치를 판별한다. 이때 동일한 안테나를 통해 신호를 송신 및 수신하는 모노 펄스 안테나 레이더는 일반적으로 펄스 신호를 방사 및 수신하도록 구성되고, 펄스 신호가 방사된 후 수신 신호가 수신될 때까지의 시간차를 분석하여 표적과의 거리를 판단한다.

레이더는 그 활용 용도를 고려할 때, 높은 신뢰성과 정확도가 요구된다. 따라서 운용 전 또는 운용 중에도 정확도에 대한 테스트가 수행될 필요가 있다. 일반적으로 레이더의 테스트는 별도의 테스트 시스템이 구비된 공간에서 테스트를 수행하는 외부 테스트 방식이 수행된다. 외부 테스트 방식은 시간적, 공간적 제약 및 전력 소모량 등을 고려하여, 테스트 대상인 레이더가 송신 신호로서 펄스 신호를 방사하면, 테스트 시스템에 구비된 지연 장치가 레이더 장치가 신호를 방사한 타이밍을 인지하고, 테스트 시스템에 구비된 지연 장치가 레이더 장치가 신

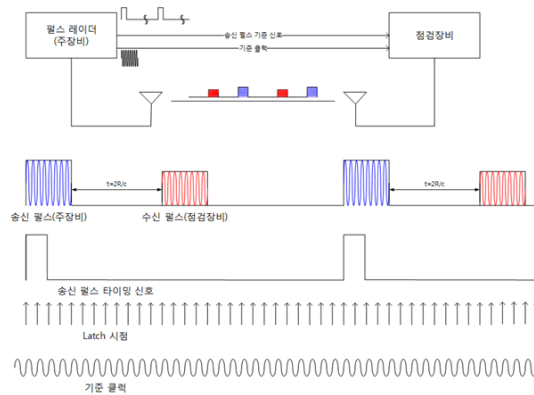


그림 2. 펄스 레이더 점검장비의 구성  
 Fig. 2. Configuration of pulsed radar's test equipment.

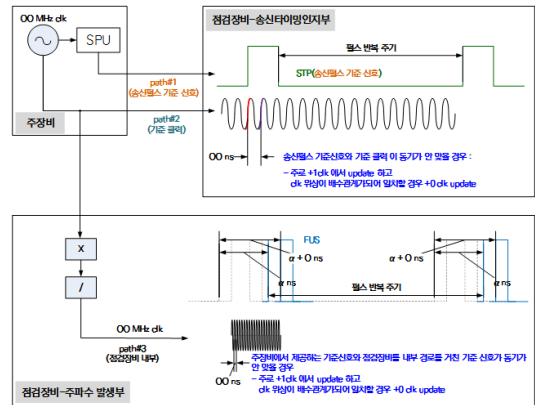


그림 3. 거리 발생 타이밍을 위한 주장비와 점검장비의 구성  
 Fig. 3. Configuration of range generation timing for main and test equipments.

호를 방사한 타이밍으로부터 테스트 거리에 대응하는 시간만큼 지연한 후에 레이더 장치로 가상 반사 신호를 전송하여 수행된다. 그리고 테스트 시스템의 검증 장치는 레이더 장치가 판단한 표적과의 거리가 테스트 거리와 매칭되는지 여부를 분석하여 매칭되면, 레이더 장치가 정상인 것으로 판단한다. 여기서 테스트 시스템은 지연 장치가 가상 반사 신호를 생성하는 타이밍을 조절함으로써, 테스트 거리를 가변할 수 있다.

2절에서 언급한 FMCW 파형의 거리 해상도는 아래의 수식 (5)에 의해 결정되며, 이는 물리적으로 발생하는 거리 해상도로 추출하는 거리 해상도와는 다르다.

$$\Delta r = \frac{c}{2B} \quad (5)$$

즉, 스윙 주파수의 폭이 커질수록 거리분해능(해상도)이 좋아진다. 예를 들어 300 MHz 의 시스템 대역폭을 사용하는 FMCW 레이더라면 물리적으로 0.5 m 의 거리 차이까지 물리적으로 발생할 수 있다.

획득한 비트 주파수로부터 거리부터 거리를 추출하는 방법은 주파수 영역 또는 시간 영역에서 수행하는데 여기서는 특히 시간영역에서의 샘플링과 테스트를 위한 점검 신호 발생에서의 거리 발생 및 추출에 관하여 다르다.

앞서 언급한 바와 같이 일반적으로 점검장비를 이용하여 그 성능을 테스트하는데 있어, 고해상도 분해능을 바탕으로 하는 FMCW 레이더와 같은 시스템은 거리/속도를 시스템 설계 규격에 만족하는지 점검하는 것이 필요하며, 이러한 테스트를 수행하기 위해서는 거리해상도 이하의 거리를 정확하게 발생시키는 장치가 필수적이다.

앞선 예처럼 0.5 m의 거리 분해능을 만족하는 시스템

을 설계했다면 0.5 m 이하의 거리를 발생시킬 수 있는 장치가 필요하다. 이러한 점검장비는 다음 그림 2와 같이 구성할 수 있다.

그림 2는 펄스 레이더 주장비와 점검장비의 구성을 개략적으로 나타낸다. 점검장비는 주장비의 송신 신호 대비 테스트하고자하는 거리 신호를 지연시켜 발생시키게 되고 이는 송신신호와  $t = \frac{2R}{c}$  만큼 시간 지연된 신호를 발생시키는데 그 목적이 있다. 이를 위해서 펄스 레이더 주장비와 점검장비는 주파수 동기화를 위한 주장비에서 제공하는 기준 클럭(reference clock)을 공유한다. 또한 송신 펄스의 시작 시점을 제공하기 위해 주장비는 송신 펄스 기준 신호를 제공한다. 이러한 모든 구성은 일반적으로 디지털로 구성되며, 이러한 시스템은 시스템 클럭(system clock)을 이용하여 입력 신호들의 상승 또는 하강 엣지(edge)를 인식하여 타이밍을 인지/생성을 한다<sup>[6]</sup>. 결론적으로 발생하는 거리 정확도는 시스템 클럭 주파수에 비례한다.

다음 그림 3은 레이더 주장비와 점검장비의 타이밍 발생 관점에서 개념을 나타낸다. 앞서 언급한 바와 같이 주장비의 시스템 클럭은 주파수 발생 관점에서 동기화를 위해 점검장비에 클럭 신호를 제공하고 이는 일반적인 구성이다. 먼저 주장비의 송신 타이밍 신호(STP)는 경로 1(path#1)을 통해 점검장비로 제공되고 이는 신호처리부에서 메인 클럭을 바탕으로 생성된다. 기준(메인) 클럭은 경로2(path#2)를 통해서 제공된다. 마지막으로 점검장비 주파수생성(합성)부의 동작을 위한 클럭이 체배되어 입력되고 경로3(path#3)을 지난다.

이러한 종래의 방법에는 다음과 같은 위험 요소를 내재하고 있다. 그림 3의 송신펄스 기준 신호(STP)는 실제 주장비가 발생한 송신 타이밍으로, 점검장비는 이 신호를 주장비에서 제공받은 기준 클럭을 기반으로 하여 상승/하강 엣지를 인지하여 시점을 인지하게 된다. 기준 클럭의 정현파 신호가 0 ~ 180도에서 상승/하강 엣지를 인지한다고 가정하면 STP의 시작 위상과 기준 신호의 시작 위상이 달라지면 1 클럭 뒤늦게 STP를 인지하는 경우가 발생하게 된다. STP와 기준 클럭은 각기 시스템의 내/외부 물리적 경로를 통과하게 되고 여러 주장비가 존재하여 내부 경로 길이가 변화하거나 또는 주장비와 점검장비를 연결하는 케이블의 변화 등으로 경로가 가변할 여지가 있어 점검장비 내부의 타이밍 인지단에서 두 신호가 동일이 위상이 되도록 설계 하는 것 자체가 쉽지 않은 요소임이 분명하다. 결국 STP가 정상 발생(동위상) 시점

대비 1 클럭 흔들릴 수 있는 요소가 존재하게 된다. 예를 들어 기준 클럭이 100 MHz 인 시스템의 1 클럭은 10 ns가 되고 이는 거리로 표현하면, 이다. 식 (6)에 의해, 1 클럭 지연이 발생하면 1.5 m의 오차가 발생하게 된다. 만약 설계한 레이더 시스템의 거리 해상도가 1.5 m 이하

$$\Delta R = \frac{c \cdot t_{clk}}{2} \quad (6)$$

라면 이를 인지하게 되고 정지되어 있는 표적을 1.5 m 까지 떨림을 발생시키고 이는 표적 포착 실패 등의 심각한 문제를 유발할 수 있다.

언급한 문제는 주파수발생부의 동작 클럭에도 영향을 주며, STP 시점 인지오차와 더불어 발생시키고자하는 거리에 주파수발생부의 1 클럭의 발생오차까지 추가로 발생되어 발생하는 거리의 신뢰도를 극명하게 떨어뜨리게 된다.

#### IV. 위상변위 합성을 이용한 거리 신호 생성

2절에서 언급한 문제점의 근본은 시스템 클럭을 설계자가 원하는 만큼 사용하지 못하는데서 기인한다. 대개 시스템을 구성하는 CPU 격인 FPGA(Field Programmable Gate Array), DSP(Digital Signal Processor), ARM(Advanced RISC Machine) 등은 동작 클럭이 수백 MHz로 제한적이고 아주 고사양일지라도 1 GHz 이상의 기준신호를 사용하는 경우는 매우 드물며 고가이다. 주장비가 물리적인 거리차이를 분리할 수 있도록 설계하였을 때 식 (3)과 (4)를 이용하면 기준 클럭의 주파수를 결정할 수 있고 식 (5)와 같다.

$$F_{clk} > B \quad (7)$$

여기서,  $F_{clk}$ 는 기준 클럭 주파수이고  $B$ 는 시스템 스윙 대역폭이다.

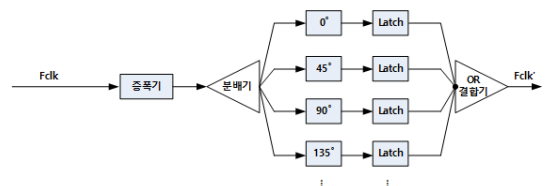


그림 4. 다수의 위상변위기를 이용한 클럭 합성 방법  
Fig. 4. The method of intergrating a reference clock using multi phase shifters.

예를 들면 1 GHz의 대역폭을 사용하는 시스템의 경우 기준 클럭의 주파수는 최소 1 GHz 이상이 필요하다.

이러한 시스템의 고해상도 성능에 비해 상대적으로 느린 기준신호의 펄스 타이밍 인식 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서 제안하는 방법은 입력된 기준 신호를 다수의 위상 변위기를 통하여 나누고 결합하는 방법이다.

그림 4는 제안하는 기준 클럭 발생방법을 나타낸다. 앞서 언급한 바와 같이  $F_{clk}$ 는 기준 클럭으로서, 주파수 동기화를 위해 주장비에서 제공받는다. 입력된  $F_{clk}$ 은 점검장비 내/외부 경로를 거치며, 경로 상태에 따라 기준신호의 출력 감소, 잡음 추가 또한 분배기 입력 삽입 손실 인한 영향을 배제하기 위해, 증폭기(amplifier) 또는 반복기(repeater)를 거칠 수 있다. 분배기를 통과한 각각의 기준 클럭은 360 도를  $n$ 으로 나누는 형태의 위상변위기 모듈을 통과한다. 각각의 위상변위기를 통과한 위상변위된 클럭을 이용하여 STP를 인지하게 되며 여기서 출력된 타이밍을 결합한다. 최종 결합된 타이밍은 가장 먼저 발생한 타이밍 신호에 반응하도록 한다.

위상변위기의 위상 변위기값과 개수는 다음 식,

$$n = \frac{F_{out}}{F_{clk}} \quad (8)$$

$$\phi(k) = \frac{2\pi}{n}(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

과 같이 구할 수 있다. 여기  $F_{out}$ 은 목표로 하는 점검장비 구동 클럭이며, 이는 식 (5)를 이용해서 산출할 수 있다.  $\phi_{step}(k)$ 는 각각 위상변위기의 위상변위량을 나타낸다. 예를 들어 주장비의 거리분해능이 0.4 m 로 점검장비 목표 구동 클럭을 400 MHz로 설정했을 때 주장비에서 제공받는 클럭을 50 MHz이면  $n$ 은 8, 각각의 위상 변화량은 45 도가 된다.

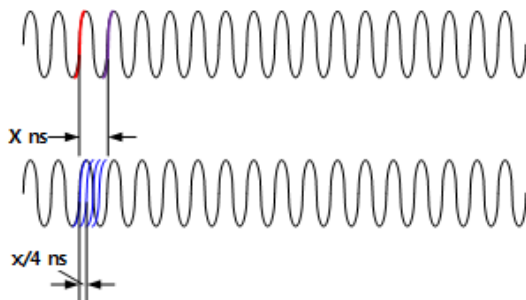


그림 5. 기존 방법과 제안하는 방법의 기준 클럭 타이밍 비교  
 Fig. 5. The comparison of a conventional and proposal method of the reference clock timing.

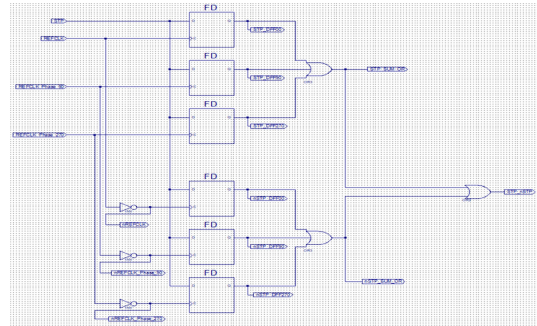


그림 6. 래치 클럭을 발생하는 제안 회로의 구성의 예  
 Fig. 6. The example of the proposal latch timing circuit.

표 1. 실험 환경

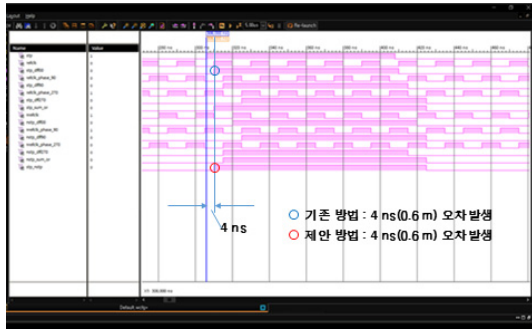
Table 1. Test Environments.

주장비		
파라미터	값	비고
파형	FMCW	삼각파, Pulse Type
대역폭	200 MHz	거리분해능 : 0.75 m
거리분해능	1.0 m 이하	신호처리 설계값
시스템 클럭	50 MHz	
점검장비		
파라미터	값	비고
트리거	STP	상승 엣지 (Rising Edge)
시스템 클럭	50 MHz	주장비에서 제공
타이밍 클럭 (목표 클럭)	200 MHz	STP 및 주파수발생부 트리거 클럭

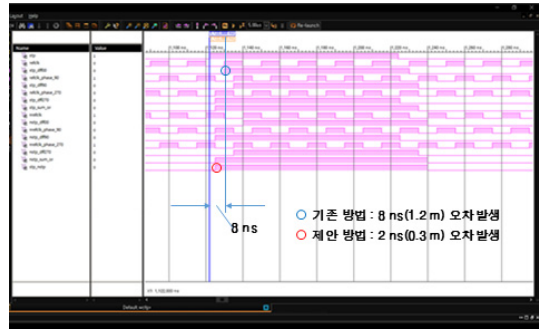
결론적으로 제안하는 클럭 모듈을 사용하여 점검장비 내부에서 사용하게 되며 얻게 되는 효과는 그림 5와 같다. 펄스 신호 트리거가 클럭의 0 ~ 90 도 상승구간에서 이루어 진다고 할 때, 종래의 방법은  $t_{clk}$  초 마다 인식하는 반면, 제안하는 방법은  $t_{clk}/n$  초 마다 단축하여 펄스를 인지할 수 있다. 그림 5는  $n=4$  인 경우의 예시이다.

## V. 실험 및 결과

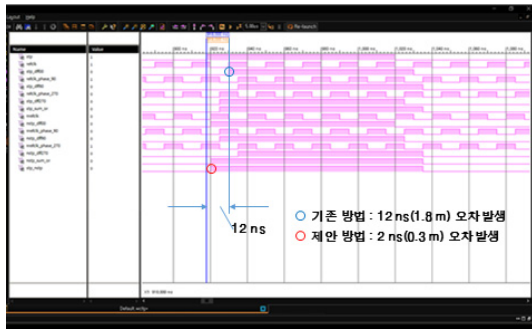
제안하는 다중 위상변위기를 적용한 클럭 타이밍 인식 기법의 성능을 확인을 하기 위해서 다음 표 1과 같은 실험을 구성하였다. 주장비는 FMCW 파형을 운용하며 최대 200 MHz의 대역폭을 스윕한다. 이때 물리적으로 발생하는 산란점 간의 이격거리는 0.75 m 가 되며 시스템



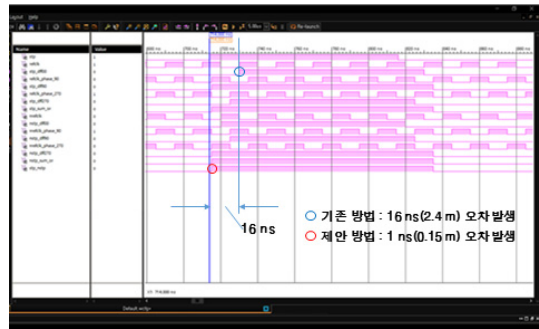
(a) STP 대비 4 ns 지연 입력된  $t_{dk}$  의 경우



(b) STP 대비 8 ns 지연 입력된  $t_{dk}$  의 경우



(c) STP 대비 12 ns 지연 입력된  $t_{dk}$  의 경우



(d) STP 대비 16 ns 지연 입력된  $t_{dk}$  의 경우

그림 7. STP 대비 지연된 기준 클럭에 대한 제안 방법 시뮬레이션 결과

Fig. 7. The simulation results of the proposal method of STP versus several delayed reference clock.

은 1 m 수준의 거리분해능을 가지도록 신호처리를 구성하고 주파수 발생 및 타이밍 생성용 기준 클럭은 50 MHz를 사용하였다.

점검장비는 주장비에서 제공하는 50 MHz 클럭을 이용하여 주파수 및 타이밍 동기화를 하였다. 물리적으로 50 MHz는 1 클럭에 3 m의 거리 이동을 발생시킨다. 그러므로 앞 절에 언급한 바와 같이 마진을 두어 목표 클럭을 200 MHz가 되도록 설계 하여 0.75 m 수준의 거리 정확도로 타이밍을 생성시키도록 하였으며,  $n = 4$ 로 90

도 씩 증가하는 위상변위기 모듈 4개를 구성하였다. 그림 6은 목표 클럭과 같이 동작하기 위한 제안한 모듈을 나타내며 180 도 위상은 인버팅을 적용하였다.

실험은 주장비에서 제공하는 STP와 기준 클럭을 경로 차에 의한 시간 지연차가 4 ns 간격으로 4 ns부터 16 ns 까지 수행하여 종래의 방법과 제안 모듈의 트리거 타이밍을 확인하였으며 결과는 다음 표 2와 그림 7과 같다.

종래의 방법은 앞 절에서 언급한 바와 같이 최대 1 클럭의 타이밍 인지 오차를 발생시킬 수 있으며 50 MHz 클럭의 경우 20 ns 까지 발생할 수 있다. 결과에서 보듯이 STP와 클럭을 정확하게 동기상으로 운용할 수 없다면 위상차에 따라 다양한 시간 지연으로 타이밍을 형성한다. 반면 제안하는 방법은 최대 4 ns 지연만 발생시킨다. 4 ns의 거리 환산 값은 0.6 m로 주장비의 거리 해상도 이하가 되며 +1 클럭의 흔들림에도 주장비가 인지 못하는 수준이 되어 안정적인 테스트 신호를 발생시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

표 2. 실험 결과

Table 2. Test Results.

순번	STP 대비		트리거 지연 시간(ns) worst case	
	지연시간 (ns)	위상 차이 (deg)	기존 방법	제안 방법
1	4	72	19	4
2	8	144	13	4
3	12	216	17	2
4	16	288	16	1

## VI. 결 론

본 논문에서는 고해상도 거리분해능을 가지는 레이더의 거리 인지/생성 관점에서의 문제를 살펴보았다. 실제로 고해상도 거리분해능을 실시간으로 달성하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있지만 근본적으로 이를 위한 거리 차이 신호에 대한 인지 문제, 점검하기 위한 적절한 거리 발생은 상대적으로 간과되고 있다.

살펴본 바와 같이 종래의 방법은 주장비에서 제공하는 기준 클럭을 이용하기 때문에 기준 클럭의 주파수가 충분히 높지 않다면 1 클럭 인식 지연 발생시 거리해상도 이상의 거리 떨림이 발생하여 시스템에 큰 영향을 줄 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 n개의 위상변위기를 이용한 기준 신호합성 방법을 제안하여 실제 타이밍 인식 동작 클럭의 주파수를 높이는 것과와 같은 결과를 확인할 수 있었다. 제안한 방법은 고가의 칩을 사용하지 않아도 되며, 간단한 방법으로 로직 내에 구현 가능한 장점이 있다.

## References

- [1] G.S. Woods, "A High Accuracy Microwave Ranging System for Industrial Applications", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 42, No. 4, pp. 812-816, Aug. 1993.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/19.234490>
- [2] Merrill I. Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, 2001.
- [3] G.W. Stimson, Introduction to Airborne Radar, Scitech Publishing, Inc., 1998.
- [4] A.G. Stove, "Linear FMCW radar techniques", IEE Proceedings F, Vol. 139, No. 5, pp. 343-350, Oct. 1992.  
DOI: <https://doi.org/10.1049/ip-f-2.1992.0048>
- [5] Jin-Kyu Choi, "A Development of the High-Performance Signal Processor for the Compact Millimeter Wave Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 17, No. 6, pp. 161-167, Dec. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.6.161>
- [6] Man-Hee Lee, "Waveform Generator for W-band Compact Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 18, No. 5, pp.97-102, Oct. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.5.97>

## 저 자 소 개

### 홍 영 곤(정회원)



- 2007년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공학과(공학사)
- 2009년 2월 : 부산대학교 전자전기공학과(공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원
- 주요관심분야 : 디지털 신호처리, 레이더 신호처리, 마이크로파 탐색기

### 김 상 호(정회원)



- 2006년 2월 : 경기대학교 전자공학과(공학사)
- 2006년 1월 ~ 2007년 1월 : KnVision 주임연구원
- 2007년 2월 ~ 2019년 4월 : (주)제트 에이치티 책임연구원
- 2019년 5월 ~ 현재 : (주)제이랩스 책임연구원
- 주요관심분야 : 레이더, 직접디지털주파수합성기, 마이크로프로세서

### 김 윤 진(정회원)



- 1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부(공학사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학석사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : LIG 넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 레이더 시스템, 마이크로파 탐색기

### 김 윤 진(정회원)



- 2001년 2월 : 광운대학교 전자공학부(공학사)
- 2003년 2월 : 광운대학교 전파공학과(공학석사)
- 2007년 7월 : 광운대학교 전파공학과(공학박사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 레이더 신호처리, 마이크로파 탐색기 등

이 만 희(정회원)



- 2007년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부(공학사)
- 2009년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원
- 주요관심분야 : 마이크로웨이브 탐색기, 초고주파 회로 및 시스템

안 세 환(정회원)



- 2004년 2월 : 송실대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 송실대학교 정보통신공과 (공학석사)
- 2007년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기

김 흥 락(정회원)



- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부(공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 신호처리, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기