

## 技術論文

## 고해상도 레이더용 광대역 디지털 칩 펄스 발생기 실험모델 개발

강경인\*, 전재한\*\*, 신희섭\*\*, 임종태\*\*

Development of Digital Chirp Pulse Generator  
for Fine Resolution Image Radar

Kyungin Kang\*, Jaehan Jeon\*\*, Heesub Shin\*\* and Jongtae Lim\*\*

## ABSTRACT

There are range and azimuth direction resolution of synthetic aperture radar on the aircraft or satellite. Wide bandwidth chirp pulse generation technology is prerequisite for SAR image with fine resolution. There are two kinds of digital chirp pulse generation technology as arbitrary waveform generator(AWG) and direct digital synthesizer(DDS). In this paper, we design and implement a digital chirp pulse generator to generate 300MHz wide bandwidth linear FM chirp pulse for the fine resolution image with direct digital synthesizer. Implemented chirp pulse generator can be useful for the SAR sensors to make 50cm range resolution image.

## 초 록

항공기나 위성에 탑재되어 지표면의 영상을 획득하기 위한 합성 개구 레이더의 영상 분해능은 거리 방향 분해능(Range Resolution)과 이에 수직인 방향의 분해능(Azimuth Resolution)으로 구분할 수 있다. 레이더 센서를 이용한 영상의 해상도를 향상시키기 위해서는 신호처리를 위한 칩 펄스를 광대역화 할 필요가 있으며, 본 논문에서는 고해상도의 영상을 획득 할 수 있는 디지털 칩 펄스 발생기를 설계하였다. 디지털 칩 펄스 발생기는 크게 AWG방식과 DDS방식으로 구분할 수 있으며 본 연구에서는 DDS방식의 칩 펄스 발생기로 선형 주파수 변조(LFM) 파를 발생시키는 300MHz 대역의 광대역 디지털 칩 펄스 발생기를 개발하였다. 개발된 칩 펄스 발생기는 거리 방향 분해능이 50cm 이상 되는 고 해상도 영상 레이더 시스템을 구현할 수 있는 성능을 가진다.

**Key Words** : Chirp Pulse(칩 펄스), Synthetic Aperture Radar(합성 개구 레이더), Direct Digital Synthesizer(디지털 신디사이저)

## 1. 서 론

항공기나 위성에 탑재되어 지표면의 영상을 획득하기 위한 합성 개구 레이더는 비나 구름,

밤과 낮의 구분 없이 표적을 관측할 수 있다. 합성 개구 레이더(Synthetic Aperture Radar)를 이용하여 얻게 되는 2차원 영상은 합성 개구 레이더의 영상 획득 과정의 두 축으로 구분할 수 있다. 한쪽 방향은 레이더와 표적과의 직선거리를 측정된 거리(Range) 또는 수직 진행방향(Cross Track)이라고 하고 다른 축은 방위(Azimuth) 또는 진행방향(Along Track)으로 표현한다.

합성 개구 레이더를 이용한 영상 생성원리는 펄스를 이용하여 센서와 표적간의 거리를 측정하

† 2006년 3월 20일 접수 ~ 2006년 7월 5일 심사완료

\* 정희원, 한국과학기술원 전기 및 전자공학 전공  
연락처, E-mail : kikang@kaist.ac.kr

대전광역시 유성구 구성동 373-1

\*\* 정희원, 한국과학기술원 전기 및 전자공학 전공

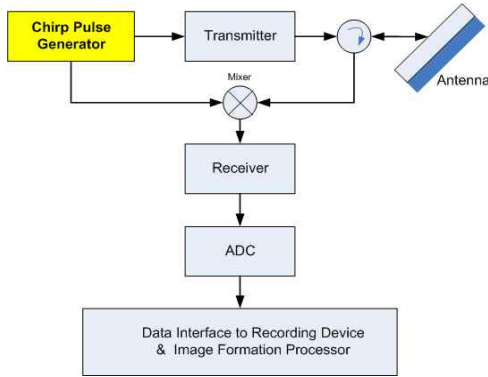


그림 1. 합성 개구 레이더 센서의 기본 구성도

는 것으로, 레이더에서 방사한 펄스가 표적에 부딪힌 후 되돌아오는 펄스의 시간을 측정함으로써 얻게 된다. 따라서 거리방향의 분해능은 방사한 펄스의 폭에 따라 결정되어지며, 짧은 폭을 가진 펄스를 사용하면 높은 해상도를 가진 영상을 얻을 수 있게 된다. 현재 사용되고 있는 영상 레이더에서는 여러 가지 방식의 펄스를 사용하지만, 광대역의 변조된 보다 긴 폭을 가진 펄스를 주로 사용하고 있다. 이 경우 수신된 신호를 처리하는데 좀 더 복잡한 과정을 거쳐야 하지만, 송신단의 최고 출력 파에 대한 요구조건을 완화시킬 수 있기 때문에 짧은 폭을 가진 펄스를 사용하는 것 보다 효율적이다. 또한 합성 개구 레이더의 장점인 방위(Azimuth) 또는 진행방향(Along Track)의 해상도를 향상시키는 방법으로는 합성 개구 레이더의 운용 모드를 바꾸어 안테나의 크기가 상대적으로 더 길어진 형태의 스팟 모드(Spotlight Observation) 등의 관측 방법으로 해상도를 향상시킬 수 있다.

영상의 해상도에 직접적으로 영향을 끼치는 칩 펄스 발생기는 그림 1의 합성 개구 레이더 센서의 한 부분을 이루고 있다. 그림 1은 합성 개구 레이더 센서의 기본 구성도로 칩 펄스 발생기, 송신기, 안테나, 수신기, 아날로그 디지털 변환기, 데이터 처리 프로세서를 위한 인터페이스 등으로 구성되어 있다.

본 논문에서는 합성 개구 레이더를 이용하여 고해상도 영상을 얻기 위한 기본 요구조건인 칩 펄스 발생기에 대하여 연구하였으며, 최근의 디지털 기술의 발전에 맞추어 디지털 광대역 칩 펄스 발생기를 개발하였다.

## II. 칩 펄스와 거리방향 해상도

센서와 표적간의 거리 측정은 레이더의 안테나에서 방사된 펄스가 지표면의 표적에서 반사되

어 안테나로 되돌아오는 시간차이를 이용하여 측정하게 되는데, 거리방향의 분해능은 되돌아온 펄스를 얼마나 작은 시간 차이로 구분할 수 있는가에 달려있다. 따라서 거리방향의 분해능  $\rho_r$ 는 식 (1)과 같이 빛의 속도( $c$ )와 펄스폭( $T_p$ )의 곱을 2로 나눈 값을 갖게 된다.

$$\rho_r = \frac{c T_p}{2} \tag{1}$$

대역폭이  $B$ 인 선형 주파수 변조(LFM) 파형의 경우는 신호이론에 따라 펄스를 대략  $1/B$  로 압축할 수 있으며, 따라서 거리방향의 공간 분해능  $\rho_r$ 은 식 (2)와 같이 된다[1]. 식 (2)의  $K_r$ 은 잉여 밴드폭 인자로 부엽(side-lobe) 제어를 위한 개구 강조(Aperture Weighting)함수와 신호에 포함된 저주파 위상 에러에 의한 주엽 확산(main-lobe broadening)을 보상하기 위한 상수이다.

$$\rho_r = \frac{c K_r}{2 B} \tag{2}$$

선형 주파수 변조(LFM) 파형의 장점은 반사된 선형 주파수 변조(LFM)파를 수신할 때 아날로그 신호 폭을 줄일 수 있으며 이는 아날로그 디지털 변화기의 속도 요구조건을 완화 시키게 된다. 또한 디지털로 변화된 데이터의 크기를 줄일 수 있게 되므로 기록장치의 크기가 줄게 된다.

식 (2)로부터  $K_r = 1$ 로 가정할 경우, 거리방향의 분해능은 칩 펄스의 대역폭에 따라 표 1과 같은 값을 가짐을 알 수 있다. 본 연구에서는 하나의 채널로 구성된 300MHz의 광대역 칩 펄스 발생기를 설계하여 추후에 대역 확장기법을 사용하여 보다 해상도가 높은 시스템을 구성할 수 있도록 하였다. 표 1에서와 같이 300MHz 대역폭의 칩 펄스 발생기를 사용하게 될 경우 거리분해능이 50cm 이상인 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있으며, 동일한 구조의 칩 펄스 발생기를 직교 변조기를 사용하여 I, Q신호로 전송시킬 경우 거리방향 분해능을 더 향상될 수 있음을 알 수 있다.

표 1에서 보인 거리방향 분해능은 계산상의 수치로 실제 시스템에 적용할 경우에는 주파수특성과 위상특성 등 시스템의 노이즈 특성에 따라 20~40%정도의 여유를 둘 필요가 있다.

표 1. 대역폭과 분해능

	대역폭	거리방향 분해능
i	100MHz	> 150cm
ii	300MHz	> 50cm
iii	500MHz	> 30cm

### III. 디지털 칩 펄스 발생기

디지털 칩 펄스 발생기를 구현하는 방법으로는 메모리에 파형정보를 저장하였다가 읽어내는 AWG(Arbitrary Waveform Generator) 방식의 칩 펄스 발생기와 주파수와 위상정보를 이용하여 펄스를 발생하는 디지털 합성기(DDS, Direct Digital Synthesizer) 방식의 칩 펄스 발생기로 나눌 수 있다.

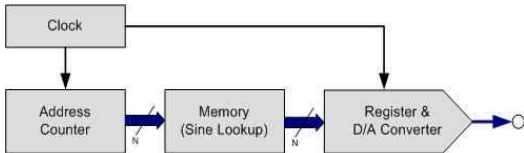


그림 2. AWG방식의 펄스 발생기 블록도

그림 2는 AWG방식의 칩 펄스 발생기 블록도로, 파형을 저장해 두었다가 읽어내는 메모리부와 저장된 파형을 순차적으로 읽어내기 위한 카운터, 그리고 디지털 신호를 아날로그로 변환하는 디지털-아날로그 변환기로 구성되어 있다. 그림 3은 디지털 신호 합성기(DDS)의 구조로 위상가산기, 위상 진폭 변환기, 그리고 디지털 아날로그 변환기로 구성되어 있으며, 위상가산기를 이용하여 원하는 주파수를 생성하는 디지털 합성기(DDS)의 파형 생성과정을 보여주고 있다. 위상가산기의 출력은 디지털 출력 값이 점점 증가함을 알 수 있으며, 이 값은 위상 진폭 변환기에 의해 진폭이 사인파의 형태로 바뀔을 알 수 있다. 최종적인 출력은 디지털 값을 아날로그로 바꾸어 주는 디지털 아날로그 변환기에 의해 사인 파형이 만들어지게 된다.

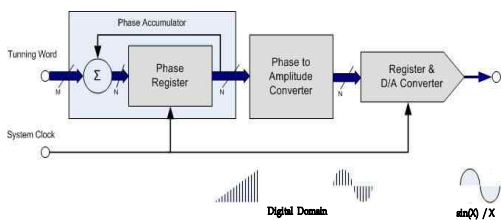


그림 3. 디지털 합성기(DDS)의 구조

위에서 보인바와 같이, 디지털 방식의 칩 펄스 발생기는 아날로그 방식과 달리 디지털 소자의 동작속도에 제한을 받게 됨을 알 수 있다. AWG 방식의 경우는 칩 펄스를 생성시키기 위한 고속의 메모리 소자가 필요한 반면, DDS방식의 경우

는 고속의 로직으로 구현이 가능하다. 하지만, DDS의 경우 고속으로 신호를 합성하기 위해서는 선형 주파수 변조(LFM) 펄스와 같이 구조적으로 단순한 파형으로 제한된다. 반면에, 임의의 파형을 메모리에 기록하였다가 읽어내는 AWG 방식의 경우는 전체 시스템의 요구에 따라 다양한 파형을 생성할 수 있는 장점을 가지고 있다.

최근 국내의 항공기용 SAR 영상 시스템 개발과 다목적위성용 SAR 영상 시스템 개발을 위해 칩 펄스 발생기가 연구되고 있으며, 채널당 150MHz에서 200MHz 대역의 펄스 발생기가 제작되어 실험되었으며, FPGA를 이용한 디지털 칩 펄스 발생기[2] 등이 연구된바 있다. 최근에는 디지털 신호를 아날로그로 바꾸어주는 디지털-아날로그 변환기의 속도가 1GHz 까지 지원 가능한 소자가 개발되어서[6], 본 연구에서는 채널당 300MHz 까지의 광대역 칩 펄스를 디지털 기술로 구현할 수 있게 되었다.

그림 4는 디지털 합성기(DDS) 방식을 이용하여 구성한 300MHz 대역폭을 가진 칩 펄스 발생기의 구성도이다. 설계된 칩 펄스 발생기는 컨트롤러부, 디지털 합성기(DDS) 신호처리부, 기준 클럭부등 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 컨트롤러부에는 칩 펄스 발생기에 필요한 안정된 전원을 공급 하기위한 정전압 회로와 디지털 합성기(DDS)의 신호처리에 필요한 레지스터 값을 제어하고 칩 펄스 발생기의 최종 출력과의 대역폭을 정하기 위한 마이크로 컨트롤러, 외부의 명령에 의해 펄스의 대역폭과 펄스 주기 등을 바꾸기 위한 시리얼 통신 인터페이스 등으로 구성되어 있다.

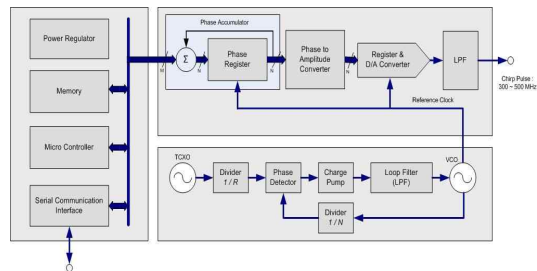


그림 4. 칩 펄스 발생기 블록 구성도

디지털 합성기(DDS) 신호처리부는 위상 고정 루프(PLL, Phase Locked Loop)회로로부터 입력 받은 기준 클럭과 컨트롤러의 제어신호를 받아 칩 펄스를 생성하는 부분으로 디지털 합성기(DDS)와 주변의 잡음 신호를 처리하기 위한 필터(LPF)등으로 구성되어 있다.

그림 5는 디지털 합성기(DDS)와 주변회로이다.

합성기의 출력은 180도의 위상차를 가진 두 개의 출력 포트를 가지고 있으며, 마지막 출력단과의 연결을 위해 차동 변압기를 이용하여 인터페이스를 구성하였다. 변압기를 이용한 연결회로는 LC 필터와 같은 리액티브 입력단과의 연결에 있어서도 효과적인 이득을 줄 수 있다

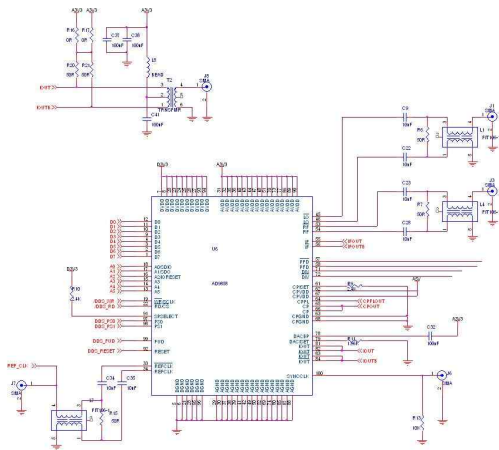


그림 5. 디지털 합성기(DDS)와 주변 회로

칩 펄스 발생기의 마지막 블록으로 기준 클럭 발생부가 있다. 이 기준 클럭 발생부는 안정된 칩 펄스를 생성하기 위해 고정된 주파수를 가진 클럭을 생성하는 부분이다. 이 기준 클럭이 변하게 되면 최종 출력단의 칩 펄스는 일정하지 못하게 되는 원인을 제공하게 되기 때문이다. 기준 클럭 발생부는 주로 RF단의 주파수 고정용으로 사용되는 위상 고정 루프(PLL) 회로를 이용하여 주파수가 온도나 주변의 상황에 민감하게 반응하지 않도록 하였다. 그림 6은 위상 고정 루프(PLL) 회로의 블록도이다.

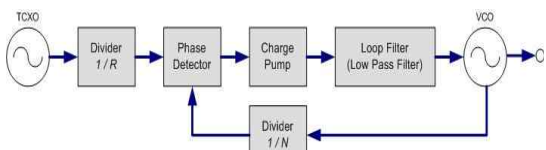


그림 6. 위상 고정 루프(PLL) 회로의 블록도

디지털 위상 고정 루프(PLL) 회로에 있어서 출력단의 성능에 영향을 미치는 부분으로는 전하 펌프(Charge Pump)의 전류량과 루프 필터의 시정수 등이 있다. 본 칩 펄스 발생기에서는 3차 루프 필터회로를 사용하여 위상 고정 루프(PLL)

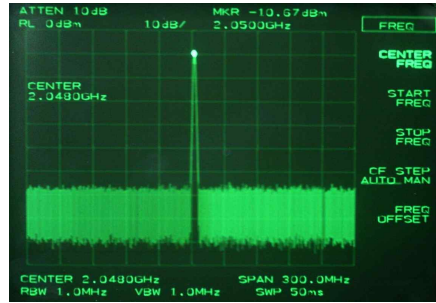


그림 7. 2GHz의 기준 클럭 출력 파형

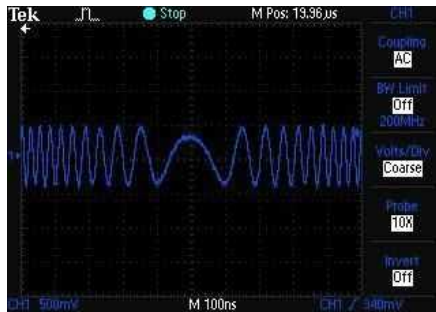


그림 8. 선형 주파수 변조 칩 펄스

회로를 설계하였으며 2GHz의 기준 클럭을 발생 시키도록 하였다.

구현된 디지털 칩 펄스 발생기는 컨트롤러에서 입력된 제어신호로부터 0Hz에서 300MHz대역까지 다양한 주파수 대역의 펄스를 발생시킬 수 있도록 하였다. 합성 개구 레이더의 센서로 사용하기 위한 칩 펄스는 앞서 설명한 바와 같이 광대역의 선형 주파수 변조(LFM)파를 사용함으로써 본 칩 펄스 발생기에서는 그림 8과 같은 형태의 선형 주파수 변조(LFM)파를 생성 하도록 하였다. 그림 8은 시간축에 대하여 주파수가 변하고 있는 선형 주파수 변조 칩 펄스이다.

그림 9는 구현된 300MHz 대역의 칩 펄스 발생기로 하나의 출력포트에 300MHz의 광대역 칩 펄스를 발생시킬 수 있도록 하였다.

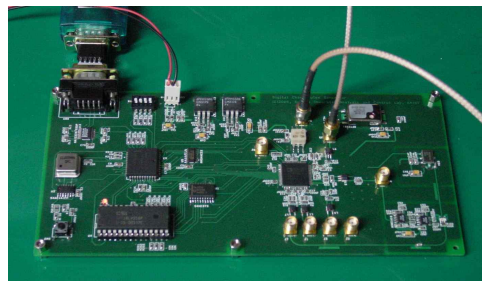


그림 9. 제작된 300MHz 칩 펄스 발생기

제작된 광대역 칩 펄스 발생기의 300MHz 대역 출력파형은 그림 10과 11에 각각 주파수축에 대한 파형과 시간축에 대한 파형으로 보였다.

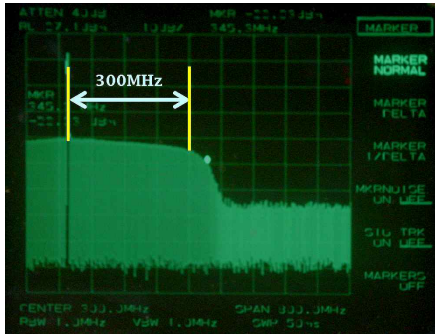


그림 10. 300MHz 칩 펄스 (주파수축)

그림 10은 차단주파수가 350MHz인 Checyshev 방식의 9차 Low Pass Filter 뒷단의 칩 펄스 출력을 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 것으로 300MHz의 광대역 칩 펄스 대역을 가짐을 볼 수 있다. 그림 11은 시간축의 칩 펄스 출력파형이다.

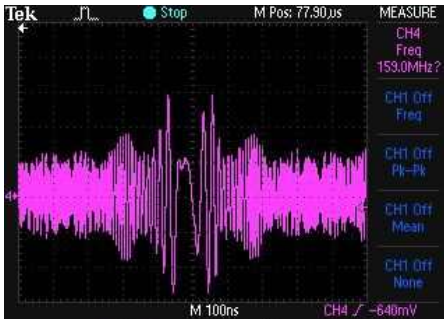


그림 11. 300MHz 칩 펄스 (시간축)

### V. 결 론

본 연구에서는 고해상도 영상을 획득하기 위한 레이더의 주요 핵심기술인 칩 펄스 발생기에 대하여 살펴보았다. 특히, 디지털 기술의 발전으로 광대역 칩 펄스를 생성할 수 있는 AWG 방식과 DDS 방식중 보다 광대역화 할 수 있는 DDS 방식의 디지털 칩 펄스 발생기를 설계하였다. 채널당 300MHz의 대역폭을 가진 광대역 칩 펄스 발생기를 합성 개구 레이더 센서에 적용하게 될 경우 거리방향의 분해능이 50cm 정도의 분해능을 가질 수 있음을 보였다. 구현된 광대역 칩 펄

스 발생기는 300MHz이상의 대역폭을 가짐을 보였으며, 향후 cm 수준의 영상을 획득할 수 있는 초 광대역 칩 펄스 발생기를 구현하기 위하여, 하나의 채널로 실험모델을 제작하였다.

제작된 300MHz 대역 칩 펄스 발생기는 디지털 합성기(DDS) 방식으로 구현되었으며 개발이 진행되고 있는 AWG 방식의 칩 펄스 발생기와 함께 고해상도 영상을 얻기 위한 영상 레이더의 기본 기술로 초 광대역화에 대한 연구를 통하여 칩 펄스 발생기의 성능을 비교할 계획이다.

구현된 디지털 칩 펄스 발생기는 최종 출력단의 인터페이스 부분을 센서 시스템과 연동되도록 보정하여 그림 1과 같이 합성 개구 레이더(SAR) 센서 시스템을 구성할 수 있으며 이를 통한 고해상도 영상을 획득할 수 있다.

### 후 기

본 연구는 한국과학기술원 전파탐지특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 1) Walter G. Carrara, Ron S. Goodman, and Ronald M. Majewski, "Spotlight Synthetic APerture Radar", Artech House, 1995.
- 2) J.E.Gonzalez, J.M.Pardo, A.Asensio, and M.Burgos, "Digital Signal Generation for LFM-LPI Radars", Electronics Letters, Vol. 39, No. 5, March 2003, pp. 464-465.
- 3) K.Czuba, K.Antoszkiewicz, and W.Wiatr, "A Wide-Band Double PLL Microwave Frequency Synthesizer", Microwaves, Radar and Wireless Communications, 15th International Conference on MIKON-2004. Vol. 1, 2004, pp. 325-328
- 4) M.Conn, F.Koenig, G.Goldman, and E.Adler, "Waveform Generation and Signal Processing for Multifunction Radar System", Radar Conference, Proceedings of the IEEE, 2004, pp. 161-165.
- 5) 황용철, 이철훈, "항공기탐제 소형 영상레이더(KOMSAR) 시스템 제어기 개발", 한국항공우주학회지, 제 33권 제 3호, 2005, pp. 86~92.
- 6) "Dual 16-Bit, 1.0GSPS D/A Converter" Analog Devices, 2005