

다기능레이다에 적용 가능한 디지털배열안테나 시스템의 실시간 디지털다중빔형성기 설계

황성환^{*,1)} · 김한생¹⁾ · 임재환¹⁾ · 주정명¹⁾ · 이기원¹⁾ · 권민상²⁾ · 김우성²⁾

¹⁾ LIG넥스원(주) 레이다연구소

²⁾ 국방과학연구소 레이다/전자전기술센터

Design of Real-Time Digital Multi-Beamformer of Digital Array Antenna System for MFR

SungHwan Hwang^{*,1)} · HanSaeng Kim¹⁾ · JaeHwan Lim¹⁾ · JoungMyoung Joo¹⁾ · KiWon Lee¹⁾ ·
MinSang Kwon²⁾ · Woo-Sung Kim²⁾

¹⁾ Radar R&D Center, LIGNEX1, Co., Ltd., Korea

²⁾ Radar & EW Technology Center, Agency for Defense Development, Korea

(Received 11 August 2021 / Revised 3 November 2021 / Accepted 10 January 2022)

Abstract

In this paper, we implement a digital multi-beamformer using FPGA(Field Programmable Gate Array) which has advantages in parallel and real-time data processing. This is accomplished through the use of not only high-speed data communication but also multiple beam forming, which is currently required by MFR(Multi Function Radar). As a result, the beamformer can process 24 Gbps throughput in real-time and form 5 digital beams at the same time. It is also compared to the results of Matlab simulations. We demonstrate how an implemented beamformer can be used in an MFR system by using a digital array antenna.

Key Words : Digital BeamFormer(디지털빔형성기), MFR(다기능레이다), FPGA, Digital Array Antenna(디지털배열안테나)

1. 서론

레이다란 전자기파를 이용하여 표적의 거리/방위/고도(고각) 등의 정보를 획득하는 시스템이다. 일반적인 원리는 공간에 전자기파를 방사하여 표적으로부터 반

사 신호를 수신하여 정보를 획득한다.

이때 전자기파를 방사하고 표적으로부터 반사된 신호가 수신될 때까지 걸린 시간으로 거리를 계산하고, 안테나의 지향방향이나 전자적 빔 조향각으로 표적의 방위각과 고각을 계산한다¹⁾.

최근 군용 레이다는 이러한 탐색과 동시에 다수의 다양한 표적을 추적할 뿐 아니라 미사일을 유도하는 기능 등을 보유한 다기능레이다(MFR : Multi Function

* Corresponding author, E-mail: sunghwan.hwang2@lignex1.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

Radar) 형태로 발전하는 추세이다. 다기능레이다에 필요한 기능을 수행하기 위해 안테나는 원하는 방향의 빠른 빔 형성과 동시에 다수의 빔 형성이 가능한 능동위상배열안테나 형태로 구현한다.

능동위상배열안테나는 안테나복사소자 각각에 반도체송수신모듈(TRM : Transmit Receive Module)이 연결되어 있고 반도체송수신모듈에는 송신을 위한 고출력 증폭기(HPA : High-Power Amplifiers), 수신단의 저잡음증폭기(LNA : Low-Noise Amplifiers)등의 능동소자를 포함하고 있다. 이 반도체송수신모듈의 제어를 통해 빠른 전자적 송신빔조향을 가능하게 한다^[2].

수신빔형성은 복사소자로부터 들어오는 입력신호에 크기와 위상을 제어하여 원하는 방향에서 신호의 크기가 최대가 되게 하는 것을 의미한다. 특히, 디지털 빔형성은 각 복사소자로부터 들어오는 입력신호를 적절하게 증폭한 후에 ADC(Analog Digital Converter)를 거쳐 디지털화되고 위상가중을 통해 각 입력신호의 위상을 정렬하여 디지털 합을 하는 것이다^[3].

각 복사소자에 수신되는 모든 신호를 디지털화하는 것은 데이터 전송 및 처리에 큰 부담이 있었으나, 최근 디지털 하드웨어 발전에 힘입어 Fig. 1과 같이 각 복사소자에 입력되는 모든 신호를 디지털화한 후에 여러 방향을 빔을 동시에 형성하는 빔형성기의 개발이 가능해 지고 있다. 이로 인해 능동위상배열안테나의 장점을 최대한 살리면서 구현이 용이하고 디지털 배열레이다 시스템에 최적화된 디지털다중빔형성기의 연구의 필요성이 대두되고 있다^[4,5].

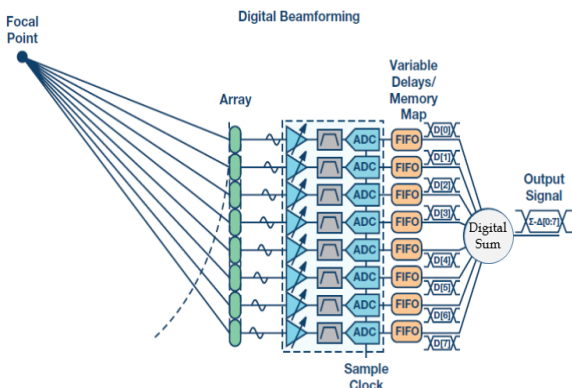


Fig. 1. The concept of Digital Beamformer^[3]

본 논문에서는 디지털배열안테나 시스템에서 디지털화된 레이더 수신신호를 이용하여 다중빔 형성을

하기 위한 디지털다중빔형성기의 설계, 구현 및 시험을 수행하였다. 고속으로 수신되는 디지털데이터를 실시간으로 처리하여 동시에 여러 방향의 디지털빔을 형성하는 구조를 제안하고, FPGA를 사용하여 디지털다중빔형성기를 구현하였다. 또한, 시험과 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다.

2. 디지털다중빔형성기 설계

2.1 빔형성 방식

일반적으로 수신빔형성은 복사소자로부터 들어오는 입력신호에 크기와 위상을 제어하여 특정 방향에서 신호의 크기가 최대가 되게 하는 것을 의미한다. 능동위상배열안테나에서는 빔형성 방식에 따라 아날로그 빔형성, 부배열디지털빔형성 및 디지털빔형성로 구분할 수 있다.

아날로그빔형성은 위상변위기를 이용해 각 배열소자로부터 입력되는 신호의 위상을 변위하고 급전기를 통해 빔을 형성하는 방식이다. 위상변위기와 급전기를 사용하기 때문에 다중빔형성 및 빔정확도 향상에 제한이 있다. 이를 보완한 방식이 부배열디지털빔형성 방식이다. 부배열디지털빔형성은 위상변위기와 디지털 위상가중을 혼합하여 빔형성을 하는 방식으로 부단위로 급전기를 배치하고, 최종단계에서 빔형성은 디지털로 하는 방식이다. 동시에 다수에 빔을 형성할 수 있으나, 빔조향 정확도가 위상변위기에 종속된다는 점과 이미 한번 급전기에서 빔형성이 되었으므로 모든 방향으로의 빔형성이 제한된다는 단점이 있다.

디지털다중빔형성은 위상변위기와 급전기 없이 디지털 위상가중으로 빔을 형성하는 방식이며, 데이터량이 많아 진다는 단점이 있으나, 하드웨어 자원에 따라 다수의 빔을 원하는 방향에 정확하게 형성할 수 있다. Table 1에서는 위에서 언급한 3가지 빔형성 방식을 비교 하였다.

2.2 디지털빔형성

위상배열안테나에서 빔을 형성하는 것은 모든 복사소자에 입력되는 신호를 더하는 것을 의미하며, 복사소자를 통해 입력된 수신신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$s_n = M_n e^{j\omega_n} \tag{1}$$

Table 1. The comparison of Beamforming method

구분	아날로그빔형성	부배열디지털빔형성	디지털다중빔형성
위상변위방식	위상변위기	위상변위기 + 디지털 위상가중	디지털 위상가중
동시 다중빔형성	없음	제한적 가능	가능
빔조향 정확도	선정된 위상변위기 해상도에 따라 오차 발생(passive)	선정된 위상변위기 해상도에 따라 오차 발생(passive)	디지털 위상가중치 해상도에 따라 오차 발생(active)
데이터량	적음	중간	많음
대전자전을 위한 적응빔	없음	제한적 가능	가능

M_n 은 복소 반사계수, \varnothing_n 은 수신신호의 위상, n 은 복사소자의 번호이다.

Fig. 2는 Uniform Linear Array에서 빔형성을 설명한 것이다. 특정 방향(Wave front)으로 빔을 형성한다고 할 때, 각 복사소자(Antenna elements)에 들어오는 입력신호는 입력각도에 따른 경로 차이에 따라 시간지연이 일어나며 각 복사소자의 위상차이로 나타난다. θ 방향으로 입사하는 신호에 대한 각 복사소자의 위상차는 다음과 같다^[1].

$$\varnothing_n = \frac{2\pi nd}{\lambda} \sin\theta \quad (2)$$

여기서, λ 는 파장(m), d 는 복사소자간 간격(m), θ 는 입사각(deg), n 은 복사소자의 번호이다.

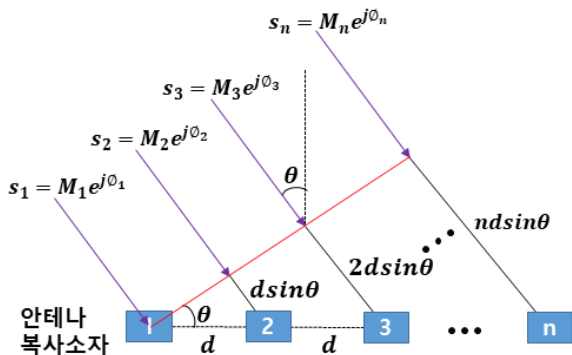


Fig. 2. The Beamforming at the Uniform Linear Array

위상배열안테나에서 θ 방향으로 빔을 조향한다는 것은 각 복사소자에 다음과 같은 가중치를 주는 것과 같은 것이다.

$$w_n(\theta) = A e^{j\varnothing_n(\theta)} \quad (3)$$

A 는 가중치의 크기이다. 따라서, 수신빔형성은 θ 방향으로 각 복사소자에 입력되는 수신신호를 (3)과 행렬 곱셈을 하면 된다.

$$B = \overrightarrow{w}^T(\theta) \times S \quad (4)$$

$$= [w_1(\theta) \ w_2(\theta) \ \dots \ w_n(\theta)] \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \dots & s_{1,t} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \dots & s_{2,t} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \dots & s_{n,t} \end{bmatrix}$$

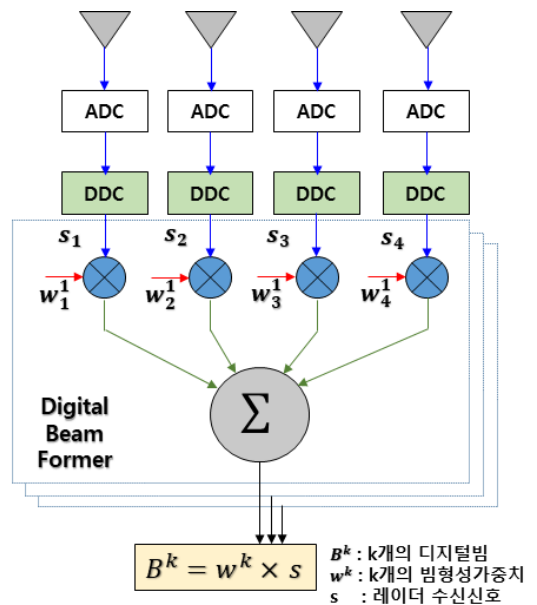


Fig. 3. The block diagram of Digital Beamforming

B는 빔형성데이터, w는 빔형성 가중치, S는 시간(t)에 따른 n번째 복사소자의 입력신호이다. 디지털빔형성은 모든 복사소자에 입력되는 신호의 디지털화를 수행하고 여기에 디지털적으로 위상가중치를 부여한 후 합(summation)하는 것을 말한다.

Fig. 3은 디지털배열안테나 시스템에서 디지털빔형성의 과정이다. 각 복사소자마다 ADC가 있는 것이 디지털배열안테나 시스템의 특징이다^[2].

2.3 디지털다중빔형성기 설계

본 논문에서는 FPGA 기반의 디지털다중빔형성기를 설계하였으며 Fig. 4는 디지털다중빔형성기의 기능블록도이다. FPGA내 SFP_wrapper는 IP(Intellectual Property)로 사용하는 SFPDP(Serial Front Panel Data Port) 프로토콜의 wrapper로서 보다 용이하게 IP를 사용하기 위해 설계하였다. 가중치계산블록은 빔의 조향각으로부터 가중치를 계산하는 블록이다. 또한, 입력신호의 크기가 동일하다면 최중 가중치는 단순화되지만 조향각을 방위각 또는 고각으로만 설정할 수 있다. 설계된 디지털다중빔형성기는 디지털배열안테나 시스템에 적용이 가능해야 하므로 방위각과 고각으로 빔형성이 가능하여야 한다. 안테나평면에서 방위각과 고각으로 빔을 형성한다고 가정하였을 때, (2)의 위상차는 각 복사소자의 위상가중치는 다음과 같이 변경된다^[1,6].

$$\varphi_p = \frac{2\pi d_{x,m}}{\lambda} u_0 + \frac{2\pi d_{y,n}}{\lambda} v_0 \quad (5)$$

p는 복사소자의 번호로서 $N_y(m-1) + n$ 이며, λ는 파장(m), $d_{x,m}$ 은 기준복사소자로부터 m번째 x축 거리(m), $d_{y,n}$ 은 기준복사소자로부터 n번째 y축 거리(m), u_0, v_0 는 u, v 도메인상의 steer angle, m은 x축 복사소자번호, n은 y축 복사소자번호, N_y 는 y축 복사소자의 개수이다. 따라서, 디지털빔형성 블록은 입력되는 수신신호에 빔형성 가중치를 행렬 곱셈하는 블록이며, 빔형성 가중치 개수에 따라 형성되는 빔의 개수가 달라진다.

$$B = \overrightarrow{w}^{*T} \times S \quad (6)$$

S는 입력신호, \overrightarrow{w} 는 빔형성 가중치이다.

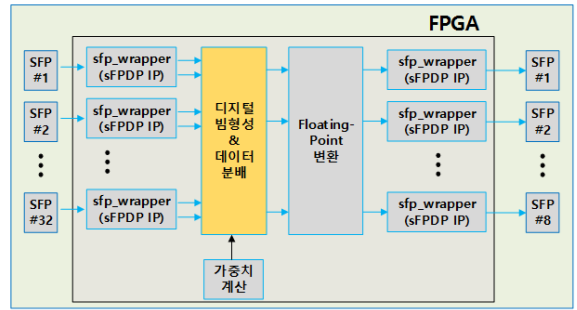


Fig. 4. The function block diagram of Digital Multi-Beamformer

데이터분배 블록은 형성된 빔의 개수에 따라 출력 SFPDP 블록을 결정하는 블록이며, Floating Point 변환 블록은 형성된 빔의 데이터 포맷을 Fixed Point에서 Floating Point로 변환하는 역할을 수행한다. SFP(Small Form-factor Pluggable)는 입력일때는 광신호를 전기적 신호로 변환해주고, 출력일때는 전기적신호를 광신호로 변환해 주는 기능을 수행한다.

2.4 모델링 & 시뮬레이션

본 논문의 시뮬레이션에서 사용한 복사소자의 개수는 128개이다. 수평 방향으로 16개, 수직방향으로 8개를 배치하는 격자구조 형태로 구성하였다.

디지털다중빔형성의 시뮬레이션 Matlab을 이용하였으며, 빔의 구성은 Fig. 5와 같이 센터빔 1개를 형성하고, 센터빔을 중심으로 각각 (-Δu, +Δv), (+Δu, +Δv), (-Δu, -Δv), (+Δu, -Δv) 만큼 떨어진 곳에 4개의 빔을 형성하여 총 5개의 빔을 형성한다.

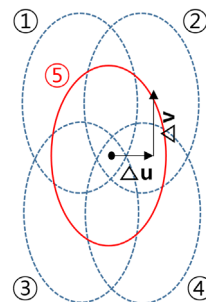


Fig. 5. The formation of Digital Multiple Beam

또한, 빔형성 시 외부 방해신호(Interference)나 재밍 신호가 안테나 부엽을 통해 수신되지 않도록 진폭에

가중치를 적용하여 최대한 부엽을 낮추는 방안도 고려하였다. 일반적으로는 Tapering을 통해 진폭에 가중치를 두며, 여기서 사용한 Tapering은 Taylor-window 30 dB를 사용하였다. 메인 조향각을 $u : -0.0175, v : -0.0175$ 로 하고 $\pm\Delta u : 0.0175, \pm\Delta v : 0.0175$ 떨어진 곳에 5개 빔을 모델링한 패턴은 Fig. 6과 같다.

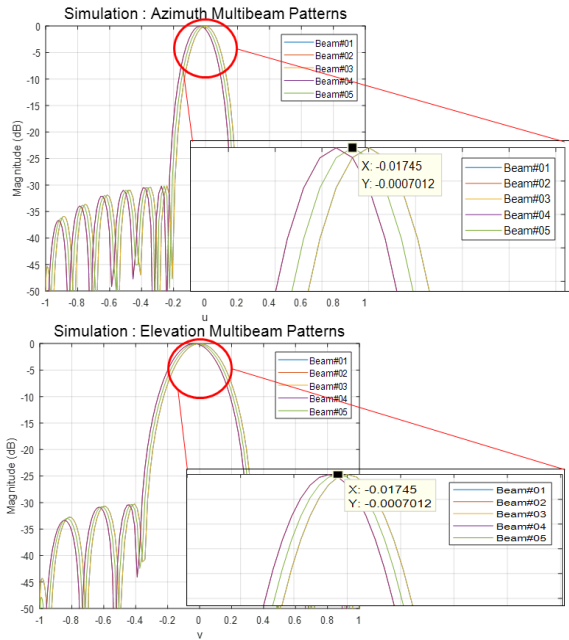


Fig. 6. The simulation result of Az-EI pattern of Digital Multi-Beam

이와 더불어, 디지털다중빔형성기는 FPGA로 구현되므로 floating point(double)가 아닌 fixed point로 시뮬레이션 한 결과도 필요하다. 이를 matlab simulink를 통해 수행하였으며 simulink 블록은 Fig. 7과 같다. 조향각을 $u : -0.573, v : -0.500$ 로 설정한 후 simulink를 이용한 시뮬레이션과 m-file을 이용한 시뮬레이션의 빔형성결과를 Fig. 8에서 방위각과 고각방향으로 비교 분석하였다. 신호레벨의 크기가 큰 영역에서는 차이가 없으나 신호레벨의 크기가 작은 영역(-40 dB 이하)에서는 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 fixed point 계산과 floating point 계산에서 발생하는 분해능의 차이로 분석된다. 본 연구가 적용되는 시스템은 -30 dB 이상의 데이터만 사용하므로 FPGA(fixed point 연산)를 이용하여 형성한 디지털빔의 신뢰도에 는 문제가 없을 것이라 판단한다.

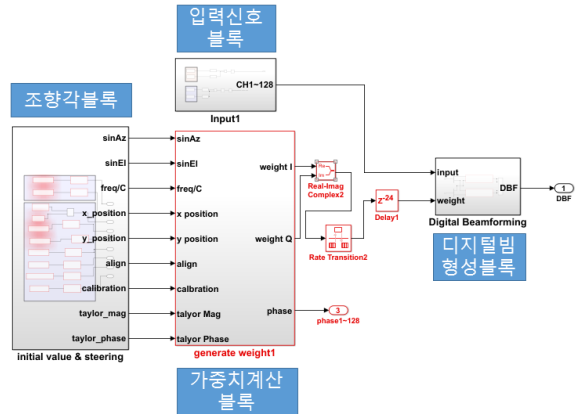


Fig. 7. The modeling of Digital Multi-Beamformer using simulink

3. 디지털다중빔형성기 구현 및 제작결과

설계된 디지털다중빔형성기는 대량의 고속데이터를 처리하기 위해 입력 32 채널 및 출력 8채널의 광채널을 가지고 있다. 32개의 광채널에 수신되는 데이터량은 $16 \text{ bits} \times 2(I,Q) \times 6 \text{ Msps} \times 128 \text{ (array 개수)} = 24.576 \text{ Gbps}$ 이다. 이를 실시간으로 처리하여 8개의 광채널에 전송하는 데이터량은 $32 \text{ bits(floating)} \times 2(I,Q) \times 6 \text{ Msps} \times 32 \text{ (최대 가능 beam 개수)} = 12.288 \text{ Gbps}$ 이다. 최대 32개의 빔을 동시에 형성할 수 있도록 FPGA 내부 클럭을 192 MHz로 구현하였다. 입력신호 6 Msps에 대해 1클럭에 한 개씩 빔을 형성하도록 하여 데이터처리에 대한 실시간성을 확보하였고, 이에 따른 빔 스위칭 시간은 1클럭(1/192 MHz)이다.

Fig. 9는 본 논문에서 적용한 디지털다중빔형성기의 하드웨어 구성도이다. 128개의 복사소자 데이터가 32개의 광채널을 통해서 입력되며, 빔형성된 데이터는 8개의 광채널을 통해 출력된다. 디지털다중빔형성기의 주요기능은 FPGA에서 수행하며, FPGA 기능블록도는 Fig. 10과 같다.

광통신으로 입력되는 신호는 SFPDP 블록을 거쳐 프로토콜의 유효성 확인 및 프로토콜 오버헤드 제거 작업을 수행한다. 데이터점검 블록에서 제어명령과의 관련성 및 유효성을 확인한 후 FIFO(First In First Out) 블록에 입력되어 cordic 블록과 floating point변환 블록에 입력된다. cordic 블록에서는 입력데이터에 가중치를 곱해주는 역할을 수행하며, floating point변환 블록

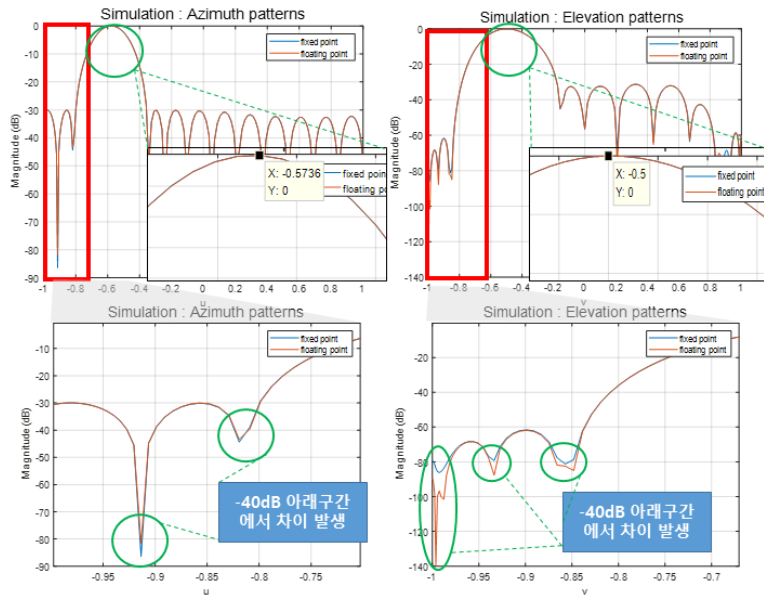


Fig. 8. The analysis of floating-point and fixed-point for Azimuth/Elevation Digital Beam

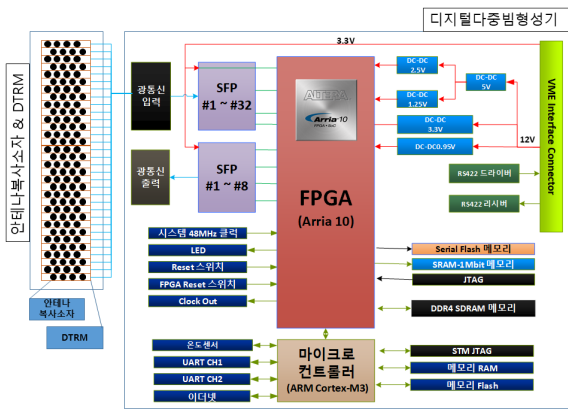


Fig. 9. The hardware block diagram of Digital Multi-Beamformer

에서는 데이터를 fixed point에서 floating point로 변환하는 역할을 수행한다. floating point로 변환된 데이터는 SFPDP 블록에서 SFPDP 프로토콜로 변환되어 신호처리장치로 전송된다.

Fig. 11은 디지털다중빔형성기의 제작형상이다. 디지털다중빔형성기의 광 통신 인터페이스는 디지털 수신신호 입력을 위한 32개 광채널과 디지털빔형성신호 출력을 위한 8개 광채널을 보유하며, 총 40개 광채널

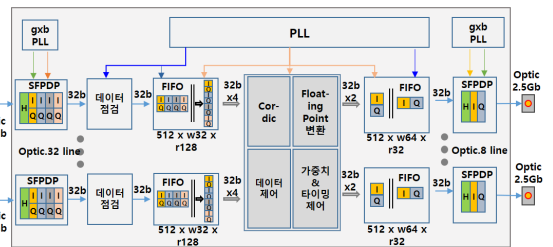


Fig. 10. The function block diagram of FPGA in Digital Multi-Beamformer

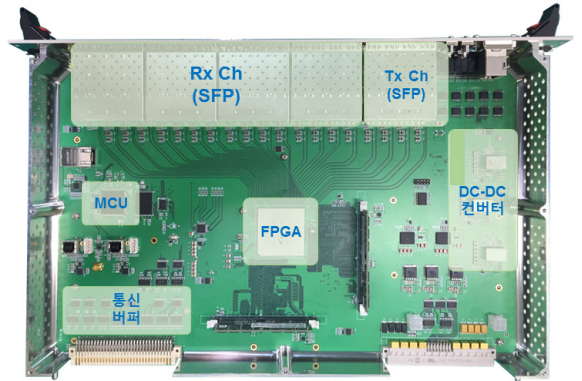


Fig. 11. The shape of Digital Multi-Beamformer

을 위해 SFP를 2열로 배치하였다. 또한, 위에서 언급한 대로 광채널로 대량의 고속데이터가 송수신되므로 데이터 통신 안정성을 고려한 아트웍을 수행하여 보드를 제작하였다.

보드의 시험을 위해 복사소자로 수신되는 신호의 크기 및 위상이 모두 같다고 가정하였다. Table 2의 수신신호 및 빔조향각 정보를 제작한 디지털다중빔형성기에 설정한 후 시험하였고, 적용한 수식은 (7)과 같다.

$$B = W \times S = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,128} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,128} \\ w_{3,1} & w_{3,2} & \dots & w_{3,128} \\ w_{4,1} & w_{4,2} & \dots & w_{4,128} \\ w_{5,1} & w_{5,2} & \dots & w_{5,128} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \dots & s_{1,t} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \dots & s_{2,t} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{128,1} & s_{128,2} & \dots & s_{128,t} \end{bmatrix} \quad (7)$$

W 는 빔형성 가중치이다. (5)에서 u_0, v_0 값을 Table 2의 $(u, v), (u-\Delta u, v+\Delta v), (u+\Delta u, v+\Delta v), (u-\Delta u, v-\Delta v), (u+\Delta u, v-\Delta v)$ 로 설정하여 5개의 빔형성 가중치를 만들었고, 수신신호 s 는 공통적으로 $16384 + 0i$ 적용하였다. 이렇게 계산된 빔형성데이터를 크기 ($\sqrt{I^2+Q^2}$)와 위상($\tan^{-1}(Q/I)$)으로 표현한 것이 Table 3의 측정된 데이터이다.

Table 2. The information of input signal and steering angle

구분	입력값
수신신호	16384 + 0i
메인빔조향각	$u : 0.0175, v : 0.0175$
델타빔조향각	$\Delta u : 0.0175, \Delta v : 0.0175$
주파수	L band

Table 3. The result of measurement data and simulation data

Beam	Measurement data (크기/위상)	Simulation data (크기/위상)
Beam #1	100.68(dB) \angle 13.56°	100.67(dB) \angle 13.55°
Beam #2	97.76(dB) \angle 13.53°	97.76(dB) \angle 13.53°
Beam #3	100.76(dB) \angle 0°	100.76(dB) \angle 0°
Beam #4	97.85(dB) \angle 359.97°	97.86(dB) \angle 359.97°
Beam #5	100.03(dB) \angle 6.76°	100.03(dB) \angle 6.76°

Table 3과 같이 측정된 데이터와 매트랩을 통해 시뮬레이션 한 데이터는 신호크기에서는 0.1 dB 이하, 위상에서는 0.02° 이하의 차이가 발생한다. 이 차이는 floating point와 fixed point 계산의 차이로 판단된다. 시스템의 데이터 정확도에 대한 요구사항이 신호크기는 0.5 dB 이하, 위상에서는 0.5° 이하이므로 요구사항 대비 신호크기는 1/5, 위상은 1/25 이하의 오차가 발생한다. 따라서 이 결과 차이가 시스템의 미치는 영향은 미미하다고 판단된다.

4. 디지털배열안테나 시스템 시험결과

4.1 확장형 디지털다중빔형성기

제작된 디지털다중빔형성기는 Fig. 12의 디지털배열안테나 시스템에 적용하여 시험 및 검증을 수행하였다. 디지털배열안테나의 복사소자는 Fig. 13과 같이 수평 방향으로 32개, 수직방향으로 16개를 배치하는 형태로 총 512개 소자가 구성되며, 각 소자의 간격은 삼각격자구조로서 각 열 별로 수직방향 위치가 교차하는 형태의 배열을 사용하였고, 복사소자 4개 마다 1개의 디지털송수신모듈(Digital TRM)이 장착되어 있는 형태이다. 따라서 안테나에는 128개 DTRM이 장착되어 있으며, 각각은 복사소자에 입력되는 신호를 기저대역변환 및 디지털화하여 광채널을 통해 송신하는 역할을 수행한다. 디지털다중빔형성기로 입력되는 1개의 광채널에는 4개의 복사소자신호가 포함되어 있고, 설계된 디지털다중빔형성기는 광 입력채널이 32개이므로 128개의 복사소자신호를 수신할 수 있다. 512개의 복사소자신호를 수신하기 위해 디지털다중빔형성기를 확장하여 구현하였다. 디지털다중빔형성기능 중가중치계산 및 디지털빔형성과 데이터결합 및 Floating

Point 변환으로 분리하였다. 즉, 디지털다중빔형성기를 디지털다중부분빔형성기와 디지털다중빔결합기로 구성한다. 디지털다중부분빔형성기에서는 가중치계산과 디지털빔형성을 수행하며, 디지털다중빔결합기에서 데이터결합 및 Floating Point 변환을 수행한다. 추가적으로 복사소자 개수가 더 증가하다면 디지털다중부분빔형성기 추가 장착을 통해 디지털다중빔형성이 가능하다.

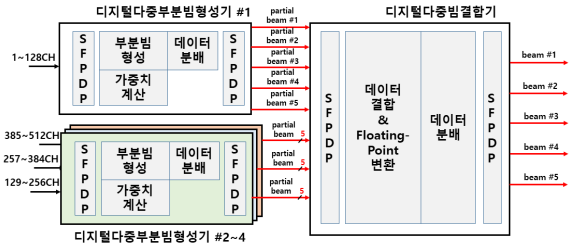


Fig. 14. The block diagram of expanded Digital Multi-Beamformer

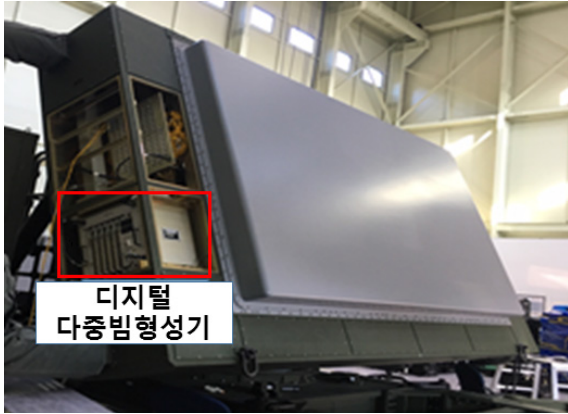


Fig. 12. The system of digital array antenna

4.2 빔 패턴 시험 결과

디지털다중빔을 확인하기 위해 근접전계 시험을 통해 측정된 데이터를 기준으로 빔의 원전계 패턴을 추출하였다. 중심 조향각을 기준으로 5개의 멀티빔(2D)을 형성 후 측정한 결과가 Fig. 15이다. 중심 빔(Beam#5)으로부터 방위각 방향 $\Delta U = 0.0106$, 고각 방

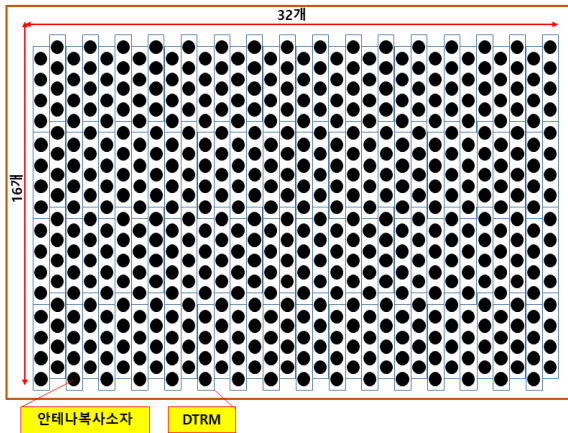
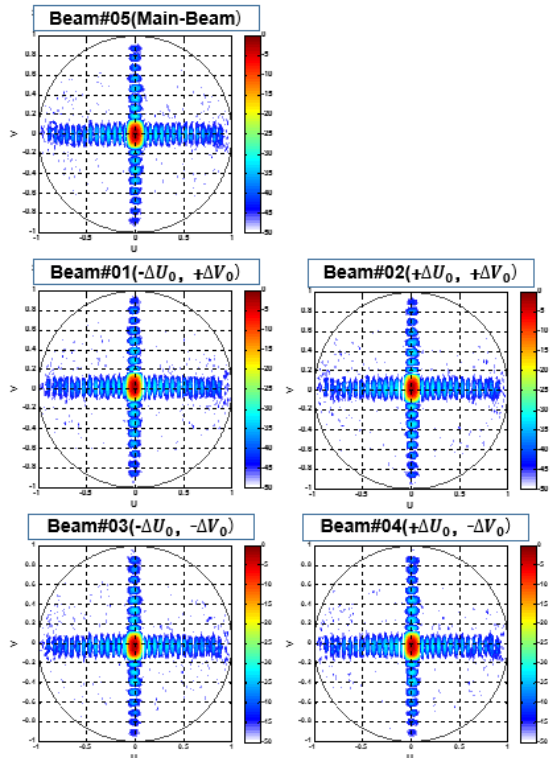


Fig. 13. The shape of antenna array



$$\Delta\theta_x = 0.609^\circ, \Delta\theta_y = 1.388^\circ$$

$$\rightarrow \Delta U_0 = 0.0106, \Delta V_0 = 0.0242$$

Fig. 15. The measurement results of multi beam pattern(2D)

Fig 14는 확장을 고려한 디지털다중빔형성기의 구조이다. 디지털다중부분빔형성기당 32개의 광 입력신호를 처리 후 디지털다중부분빔을 형성하여, 디지털다중빔결합기에 전송한다. 디지털다중빔결합기는 4개의 디지털다중부분빔형성기에서 입력되는 데이터를 결합한 후 Floating Point 변환하여 다음 단계(신호처리)에 데이터를 전송하는 역할을 수행한다.

향 $\Delta V = 0.0242$ 의 이격을 가지는 빔을 4개 생성하여 중심빔을 포함하여 총 5개의 멀티빔을 동시에 형성하였다. U-V 도메인 상의 의도한 대로 빔이 정상적으로 형성됨을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

최근 디지털 하드웨어 발전에 힘입어 각 복사소자에 입력되는 모든 신호를 디지털화한 후에 여러 방향의 빔을 동시에 형성하는 디지털다중빔형성기의 개발이 가능해 지고 있다. 이에 따라 구현이 용이하고 디지털배열안테나 시스템에 최적화된 디지털다중빔형성기의 연구가 필요하다.

본 논문에서는 FPGA를 이용한 디지털다중빔형성기의 설계, 제작 및 시험을 통해 실시간 데이터처리 능력, 다수의 빔을 동시에 형성할 수 있는 기능을 확인하였고, 디지털배열안테나 시스템에 장착하여 성능을 검증하였다.

이와 같은 FPGA를 이용한 디지털다중빔형성기는 대용량의 고속데이터 실시간 처리, 하드웨어 소형화 등에 장점이 있다. 더불어 복사소자 개수 증가에 따라 확장이 가능도록 설계하였으므로 여러 방면의 디지털 배열안테나에도 적용이 가능할 것이라 판단된다.

향후 MFR 시스템은 모든 복사소자가 디지털로 제어되는 디지털배열안테나를 적용할 것으로 보이며, 디지털다중빔형성기는 더욱 중요해질 것이다. 이 논문은 향후의 MFR 시스템에 빔형성기를 설계하는데 적용될 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소 핵심기술(응용연구)사업 지원으로 수행되었음.

References

- [1] Merrill Skolnik, "Introduction to RADAR Systems," 3rd Edition, McGraw-Hill, 2001.
- [2] J. H. Lim, S. J. Park, S. H. Hwang, J. M. Joo, H. S. Jin, M. S. Kwon, W. S. Kim, "Transceiver Structure Design and Alignment Method for the L-Band Full Digital Array for Multi-Function Radar," The Journal of Korean of Electromagnetic Engineering and Science, 32(1), pp. 85-96, January, 2021.
- [3] Peter Delos, "An Interview with Analog Devices Discussing RF Electronics for Phased Array Applications," Analog Devices, Inc., 2019.
- [4] Salvador H. Talisa, Kenneth W. O'Haver, Thomas M. Comberiate, Matthew D. Sharp, and Oscar F. Somerlock, "Benefits of Digital Phased Array Radars," Proc. IEEE, Vol. 104, No. 3, pp. 530-543, March, 2016.
- [5] Eli Brookner, "Active-Phased-Arrays and Digital Beamforming : Amazing Breakthroughs and Future Trends," IEEE Radar Conference, Tutorial MA1, May 26, 2008.
- [6] R. E. Collin, "Antennas and Radiowave Propagation," International Edition, McGraw-Hill, 1985.