

크로스 아이 재밍을 위한 멀티밴드 다중채널 송수신기의 정밀 가변 위상 및 진폭 매칭 구조 설계

Design of Precise Variable Phase and Amplitude Matching Structure for Multiband Multichannel Transceivers in Cross-Eye Jamming

김정훈 · 김인선 · 장연수 · 박진태 · 김기백 · 박범준

Junghoon Kim · Inseon Kim · Yeonsoo Jang · Jintae Park · Ghiback Kim · Beomjun Park

요 약

다중 배열 안테나를 사용하는 무선 통신 및 레이더의 사용 빈도가 증가하고 있으며, 시스템 내에서 사용되는 다중 배열 안테나는 올바른 빔조향을 위해 위상과 진폭이 잘 정합되어야 한다. 특히 위상과 크기 정합은 모노펄스 센서를 사용하는 레이더와 미사일에 전파 왜곡을 초래하여 방위 기만을 발생시키는 크로스 아이 재밍 기법의 핵심이다. 본 논문에서는 다중 배열 안테나를 사용하는 송수신기의 조향 능력을 향상시키며 모노펄스 센서에 각도 기만을 발생시키기 위해, 광대역 듀얼 주파수 대역에서 다중 배열 안테나의 위상과 크기를 정밀하게 정합시키기 위한 구조가 제안되었고, 제작된 장치를 통해 성능을 증명하였다.

Abstract

The use of radio frequency (RF) communications and radar signals with multiarray antennas is increasing. The array antennas used in these applications should be sophisticatedly matched in terms of the phase and amplitude for beam steering. In particular, phase and amplitude matching are the core techniques of cross-eye jamming that is known to cause angle deception in radars and missiles with monopulse sensors, resulting in wavefront distortion. In this study, to improve the beam steering performance of typical transceivers with phased array antennas and generate large angle errors in systems with monopulse sensors, a novel architecture to precisely match the phases and amplitudes of multichannel transceiver array antennas in the dual-frequency band is proposed, and the performance is verified using the fabricated device.

Key words: Phase and Amplitude Matching, Monopulse Radar, Cross Eye Technique, Phased Array Antenna, Wavefront Distortion

I. 서 론

근래 무선 RF의 송수신 성능 향상을 위해 위상배열안

테나(phased array antenna, PAA)의 응용이 확대되고 있으며, 특히 레이더, 통신, 전자전과 같은 군사적 분야는 민간 분야보다 앞서 이 기술을 도입하였다. PAA는 기본적

국방과학연구소 레이더전자기술센터(RADAR & EW Technology Center, Agency for Defense Development)

· Manuscript received August 18, 2023 ; Revised September 18, 2023 ; Accepted October 26, 2023. (ID No. 20230818-064)

· Corresponding Author: Junghoon Kim (e-mail: ds3qja@gmail.com)

으로 고정된 여러 개의 복사 소자, 전력분배회로, 시간 지연기(time delay), 진폭 조절기, 위상 변위기(phase trimmer) 등으로 이루어진다. 관심 주파수의 범위가 넓지 않고, 빔 조향이 특정 방향으로 정해진 경우 단일 증폭기에서 증폭된 신호를 전력분배회로를 통해 각 경로로 분배한 후 시간 지연과 위상 변화를 PCB 패턴을 통해 적절히 변화시켜 복사 소자로 내보내는 수동 PAA의 사용(그림 1)이 가능하나, 빔 조향을 위해서는 능동 TR 모듈을 적용하고, 위상과 진폭 정합 기술이 적용된 능동 PAA 기술(그림 2)이 사용되어야 한다. 광대역의 주파수를 다루는 전자전 분야에서 아날로그 위상 변위기만을 사용할 경우 보정된 주파수를 벗어나면 위상 변위차가 발생하여 배열 안테나의 빔 편이(beam squint) 현상이 발생한다.

특히 서로 다른 주파수를 사용하는 모노펄스 센서 방식의 미사일 2개 이상이 동시에 위협할 경우 각각의 위협 주파수와 방향으로 빔을 조향하여 재밍 신호를 발생시킬 필요가 있으며, 이럴 경우 기존의 일반적 APAA 구조에서는 동시 대응이 어렵다.

모노펄스 센서를 사용하는 탐색기나 레이더를 재밍할 수 있는 각도 기반 기법으로 전파 왜곡을 이용한 크로스 아이 재밍기법이 있다. 크로스 아이 기법은 서로 이격된 한 쌍의 송수신기로 이루어져 있으며, 모노펄스 센서 신호를 수신하여 두 개의 송신기가 서로 180° 반대 위상을 갖는 신호를 송신하여, 모노펄스 센서 수신부에 왜곡된 전파 왜곡을 발생시켜 각도 오차를 발생시킨다^{[1]~[3]}. 이러한 구조를 갖는 장치를 이중요소 역지향성 크로스 아

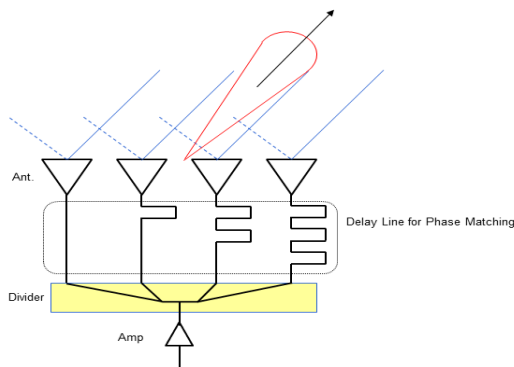


그림 1. 수동 위상 배열 안테나
Fig. 1. Passive phased array antenna (PPAA).

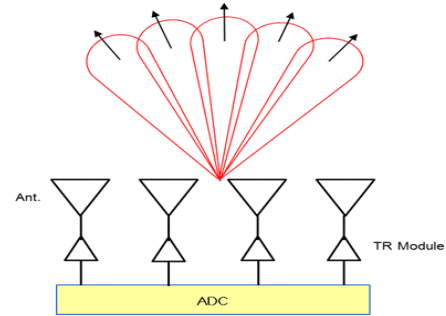


그림 2. 일반적인 능동 위상 배열 안테나
Fig. 2. General active phased array antenna (APAA).

이 재머(two-element retrodirective cross-eye jammer, TRCJ)(그림 3)라 하며, 방향 정보가 없더라도 입사방향으로 재밍신호를 방사하는 특징을 갖는다. 기존의 TRCJ 구조는 두 채널로 구성되어 전파면의 왜곡을 발생시키는 섹터 각이 매우 좁다. 반면, 다중 요소(multiple element retrodirective cross-eye jammer, MRCJ)(그림 4) 및 다중 위상 배열을 이용하는 역지향성 크로스 아이 재머(phased array

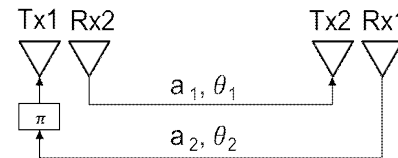


그림 3. 이중요소 역지향성 크로스 아이 재머 구조
Fig. 3. Two-element retrodirective cross-eye jammer configuration.

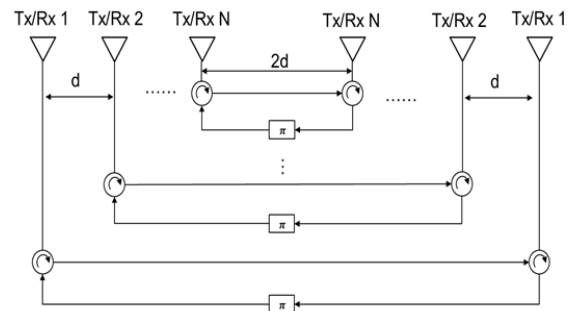


그림 4. 다중요소 역지향성 크로스 아이 재머 구조
Fig. 4. Multiple element retrodirective cross-eye jammer configuration.

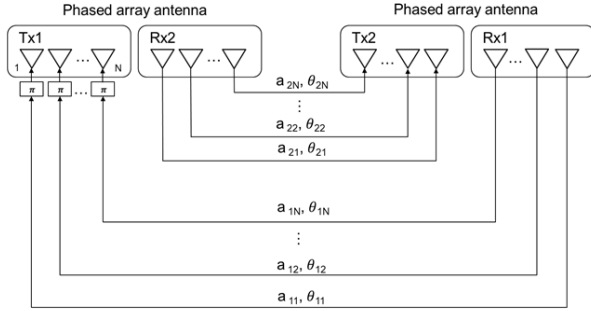


그림 5. 다중위상배열 역지향성 크로스 아이 재머 구조
Fig. 5. Pulse array retrodirective cross-eye jammer configuration.

retrodirective cross-eye jammer, PRCJ)(그림 5)의 경우 방향정보 없이 넓은 섹터에서 높은 J/S의 효과를 나타낼 수 있다^{[4]~[7]}.

본 논문에서는 크로스 아이 재밍을 위해 다중위상배열 역지향성 크로스 아이 구조를 적용하고 이때 높은 크로스 아이 이득을 얻기 위한 채널 간 진폭 및 위상을 계산하고 이를 만족시키기 위한 매칭 구조를 제안한다.

II. 다중위상배열을 이용한 크로스 아이 재머 설계

그림 5의 다중위상 배열 역지향성 크로스 아이 재머는 반도체 증폭 소자를 적용한 다채널 송수신 모듈을 통해 구현될 수 있는데, 대부분 TWT(traveling wave tube)를 이용하는 MRCJ에 비해 빔 조향 특성이 우수하고 낮은 출력에서 위상 및 진폭 제어가 가능하여 정밀 보정에 유리하다.

그림 5의 a_{li} 는 1번 송수신기 간의 각 채널별 진폭차, a_{2i} 는 2번 송수신기 간의 각 채널별 진폭차를 나타내며, θ_{1i} 는 1번 송수신기 간의 각 채널별 위상차, θ_{2i} 는 2번 송수신기 간의 각 채널별 위상차이다.

그림 6은 크로스 아이 이득(G_c) 관련 채널 간 진폭비 ($a=M_2/M_1$)와 위상차(ϕ)^{[3],[7]~[9]} 수식과 그 시뮬레이션 결과를 보여준다. M_1 과 M_2 는 각각 재밍송수신기 1, 2의 진폭이다.

$$M_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N a_{1i} a_{1k} \cos(\phi_{1i} - \phi_{1k})} \quad (1)$$

$$M_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N a_{2i} a_{2k} \cos(\phi_{2i} - \phi_{2k})} \quad (2)$$

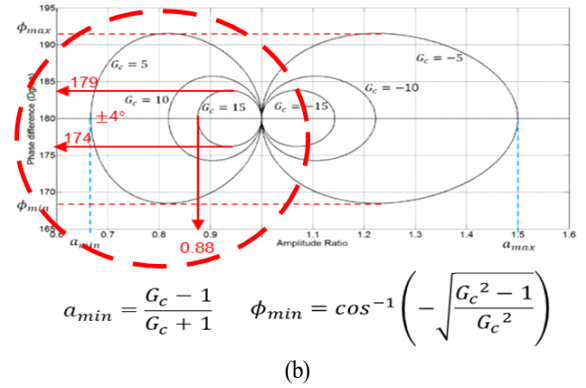
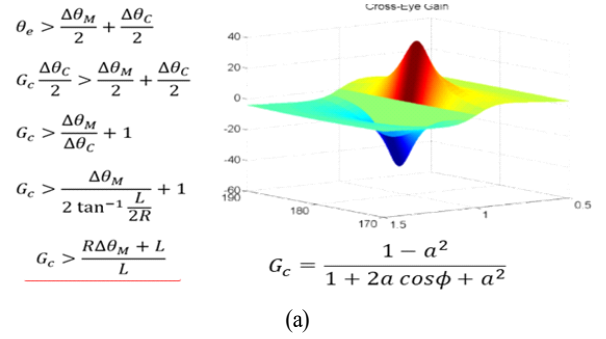


그림 6. 각도 기만을 위해 요구되는 2개 송신 신호의 위상과 크기 비의 시뮬레이션 결과

Fig. 6. Simulation results for phase difference and amplitude ratio of two TX signals required for angle deception.

모노펄스 센서 기만에 필요한 높은 G_c 를 얻기 위해서는 채널 간 진폭차와 위상차가 작을수록 유리하며, $G_c=15$ dB를 만족시키기 위한 최소 진폭비는 약 0.88, 위상차는 4° 임을 알 수 있다(그림 6 (b)). 여기서, θ_e 는 모노펄스 레이다가 재머의 중점으로부터 기만되는 각도 오차, $\Delta\theta_M$ 는 모노펄스 레이다의 빔폭, $\Delta\theta_C$ 는 크로스 아이 재머 두 송수신기와 모노펄스 레이다가 이루는 각도, R 은 재머와 모노펄스 레이다의 거리, L 은 재머 두 송수신기 사이 거리를 뜻한다(그림 7).

III. 위상 및 진폭 제어 구조 설계

본 논문에서는 모노펄스 센서 기만을 위한 크로스 아이 기법을 적용한 PRCJ를 설계(그림 7)하였고, 2개의 주파수 대역에서 능동 위상 배열 안테나의 위상/크기 정합

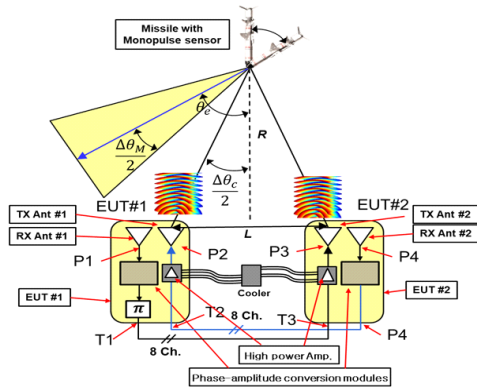


그림 7. 모노펄스센서 기만을 위한 크로스 아이 재밍 구조
Fig. 7. Cross eye jamming technique for monopulse sensor deception.

을 위한 구조를 제안한다. 안테나부는 TX Ant #1, #2, RX Ant #1, #2로 각각 8채널의 광대역 active phased array antenna로 설계/제작되었다. 각 송신기에는 채널별 고출력 증폭기와 열 냉각을 위한 냉각기가 연결되며, 수신기는 미약신호를 증폭하는 광대역 증폭기(TR)를 포함한 위상 진폭변환모듈로 구성된다. 위상진폭변환모듈은 주파수 밴드 선택을 위한 멀티플렉서, 시간 지연과 진폭 정합을 위한 다기능 칩(multi function chip, MFC), 정밀 위상 조절을 위한 위상 변위기(phase trimmer)를 동시에 적용한 구조로 제안/설계하였다.

일반적으로 PPAA 구조는 위상 정합을 위해 delay line (지연기)을 이용하며, 빔 조향과 관심 주파수가 고정되어 있고, 기존의 APAA 구조는 주파수 범위가 제한적(예: X band만)일 때 빔조향이 가능하다. 따라서, 본 논문에서 제안한 구조는 이러한 단점을 보완하고 광대역의 다중 주파수에 대응하기 위해 멀티플렉서(multiplexer) 구조에 phase trimmer와 MFC를 동시에 적용한 다중 주파수 동시 대응이 가능한 위상/진폭 매칭 구조를 갖는 것이 특징이다. 제안된 구조(그림 8)는 멀티플렉서를 사용하여 기만 센서 주파수를 F1(예: X 밴드), F2(예: Ku band)로 분리할 수 있으며, 추후 주파수 대역은 그림 9와 같이 확장이 가능하다. MFC는 TTD(true time delay)와 DCA(digital controlled attenuator)로 구성되어 있다. TTD는 0~255 ps 범위에서 1 ps단위로 조절가능하며, 20 GHz에서 0~1,836° 범위에서 약 7.2° 간격으로 위상을 조절할 수 있다.

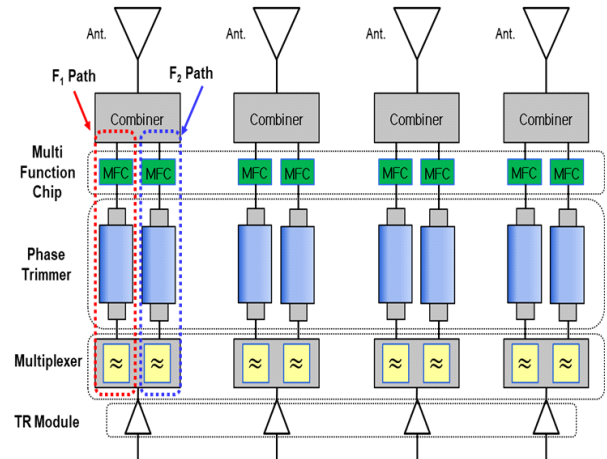


그림 8. 2개 주파수 대역에서 능동 위상 배열 안테나의 위상/크기 정합을 위해 제안된 구조
Fig. 8. Proposed architecture to match phases and amplitude of APAA in two frequency bands.

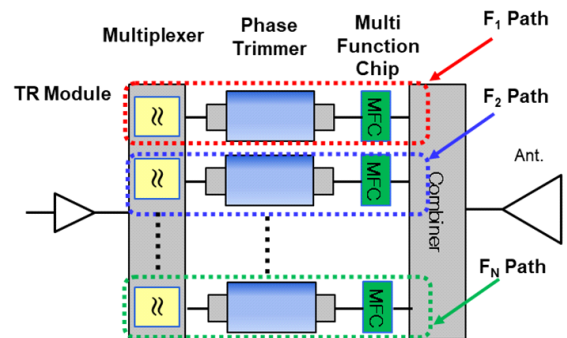


그림 9. N개 주파수 대역으로 확장된 단일 채널정합 구조
Fig. 9. Expanded matching architecture for N frequency bands in one channel.

채널간 진폭차를 보정하기 위해 사용되는 DCA는 0~31.75 dB 범위에서 0.25 dB 단위로 조절 가능하며, 가장 작은 신호세기를 갖는 채널을 기준으로 나머지 채널의 감쇄치를 조정한다. 위상 변위기(phase trimmer)는 아날로그 위상 제어로 0~20°(@18 GHz) 범위에서 위상을 정밀 제어한다.

단일 채널의 위상 및 진폭 제어의 순서는 TTD, DCA, phase trimmer 순서이다. 만약, DCA를 통한 진폭 조절을 마지막에 할 경우 단위 진폭 조절 시마다 위상 변화가 급격히 발생하여 전체의 위상 정합을 어렵게 한다. 따라서,

첫 번째로 TTD에서 1 ps(7.2°@20 GHz 조절)단위로 시간 지연을 통해 위상을 대략 제어하고, DCA에서 진폭 값을 조절하며, 마지막으로 phase trimmer를 이용하여 최종 위상값으로 정밀 튜닝한다. 일반적으로 DCA를 통한 감쇄 값의 변화는 위상의 변화를 동반하기 때문에, phase trimmer를 통한 정밀 위상 제어를 마지막 순서로 하였다. 단일 채널 별 위상/진폭 제어가 완료되면 기준 채널을 정하여 다시 최종 미세 위상 정합을 phase trimmer를 통해 수행한다.

IV. 위상 진폭 변환 모듈 성능

4.1 위상진폭변환모듈 제작

본 논문에서는 크로스 아이 기법을 적용하기 위해 그림 7의 TX Ant #1, #2, RX Ant #1, #2를 각각 1×8 배열안테나로 제작(그림 10)하였다. 표 1은 그림 7에 표현된 포트 P1→P3 경로의 8채널, 포트 P4→P2 경로 8채널 사이의 위상 및 진폭의 목표 성능을 나타낸다. 이 두 경로의 위상차는 180°±1° 이내이다. 요구 목표 성능은 제작 오차, 측정 오차 및 냉각기 성능을 고려하여 설정된 것이다. 그림

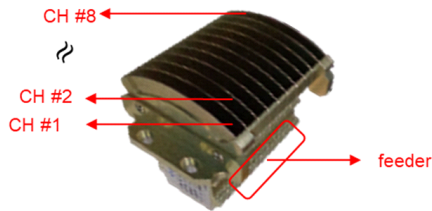


그림 10. 제작된 1×8 배열 안테나
Fig. 10. Fabricated 1×8 array antenna.

표 1. 8채널 간 위상 및 진폭의 주요 목표 성능

Table 1. Required major performance of phase and amplitude conversion modules.

Index	Required performance
1. Input/output frequency	C~Ku band
2. Phase tolerance between channels after calibration	$\leq \pm 1^\circ$
3. Input/Output VSWR	$\leq 2.5:1$
4. Amplitude tolerance between channels after calibration	≤ 1 dB

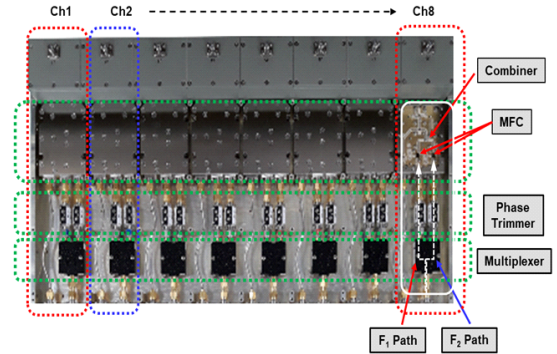


그림 11. 제작된 8채널 위상진폭변환모듈
Fig. 11. Fabricated phase and amplitude conversion module with 8 channels.

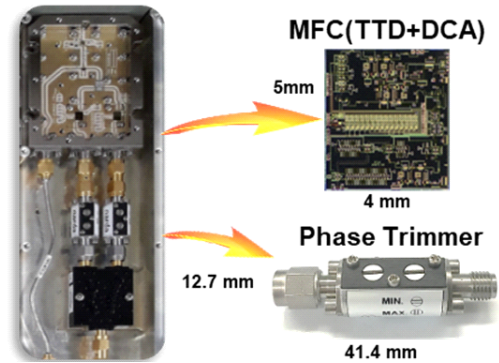


그림 12. 단일 채널 내 다기능 칩(MFC)과 위상 변위기
Fig. 12. One channel module and dimension of MFC and phase trimmer.

11은 제안된 구조(그림 8)로 제작된 8채널 위상진폭변환모듈을 나타내며, 그림 12는 단일 채널 확대 형상과 MFC, phase trimmer의 크기를 나타낸다.

4.2 위상진폭변환모듈 측정

제작된 8채널의 위상진폭변환모듈을 적용하여 송수신 안테나의 포트 P1→P3 경로 8채널, P4→P2 경로 8채널 사이의 위상 및 진폭의 보정을 수행하였다. 그림 13은 P1→P3 경로 8채널 보정 측정을 위한 구성도를 나타내며, 그림 14는 실제 측정 및 보정 과정을 나타낸다. 멀티포트 네트워크의 1포트의 출력을 1×8 분배기를 통해 EUT #1

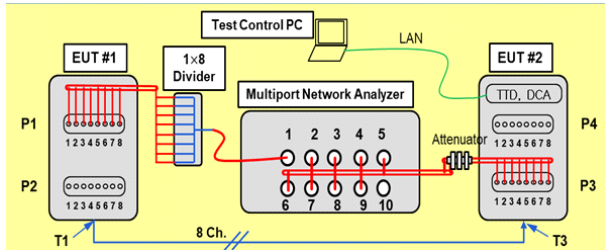
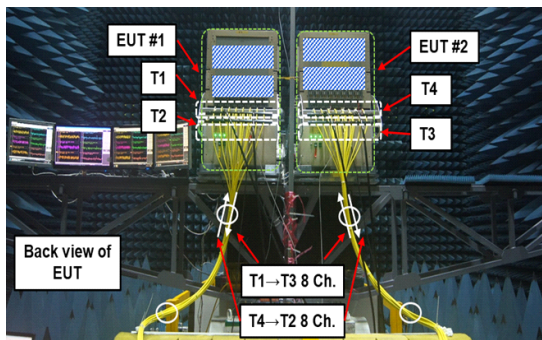
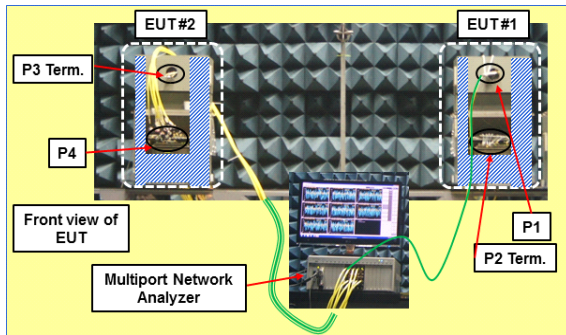


그림 13. P1→P3 경로 위상/크기 측정 및 보정을 위한 셋업

Fig. 13. Setup diagram for phase & amplitude calibration of P1→P3 route.



(a) 전면부
(a) Rear view



(b) 후면부
(b) Front view

그림 14. 보정 셋업

Fig. 14. Calibration setup.

의 P1 8채널로 입력하고, T1→T3 경로의 8채널 RF 케이블을 통해 신호 전달 후, EUT #2의 P3 포트 출력을 감쇄기를 통해 멀티포트 네트워크 분석기 2~9번 포트와 연결하였다. 멀티포트 네트워크 분석기는 Keysight사의 M9018B (S/N: TW52290110) 모델 10 ports를 사용하였으며, Calibra-

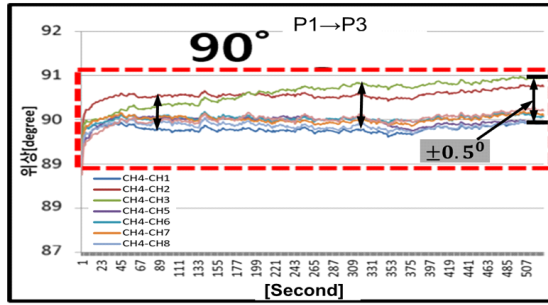
tion은 1×8 분배기와 감쇄기를 포함하여 수행하였다.

이때, 보정 수행 시 위상 및 이득의 측정은 8개 채널이 동시에 이루어져야 한다. 만약 2 port 네트워크 분석기를 사용하여 순차적으로 위상을 측정하는 경우 측정 시간에 따른 채널간 위상 변화 편차가 발생하여 보정값 산출이 어렵다. 그림 11은 EUT #1, EUT #2 장비 사이 위상진폭 변환모듈을 이용한 보정 측정 과정을 보여준다. 두 크로스 아이 송신기는 간격이 좁을 때 발생하는 상호 간섭현상으로 인해 각도기만 효과가 저하되는 것을 방지하기 위해 충분히 이격시켜야 하기에^[10], 터미널 T1→T3(8채널), T4→T2(8채널)의 케이블의 길이를 각 8 m의 길이를 갖는다.

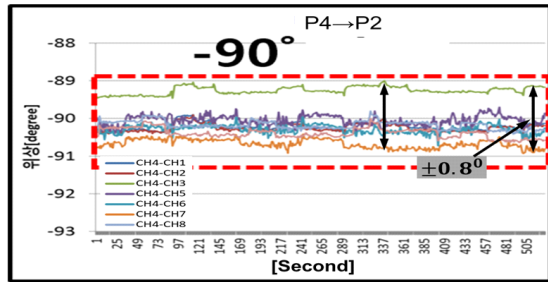
4.3 위상진폭변환모듈 보정 결과

P1→P3 경로 8채널에 대하여 멀티포트 네트워크를 이용하여 위상을 측정 후, 각 경로에 위치한 TTD, DCA, phase trimmer 순서로 조절하여 위상을 90°로 제어하는 보정을 수행하였다. TTD, DCA, phase trimmer는 보정 시 가변을 위해 초기값을 중간값인 128 ps, 00 dB, 10°@16 GHz로 설정하였다. 실제 측정 및 보정은 2개 주파수 대역(F1: 12 GHz 대역, F2 :16 GHz 대역)에서 수행되었으나, 본 논문에서는 위상 민감도가 높은 16 GHz 대역의 결과만을 나타내었다. 먼저, 미세 위상 조정과 진폭은 시험 제어용 PC를 통해 TTD와 DCA를 조정하고, 측정 기준 채널을 기준으로 최종 위상차를 phase trimmer를 사용하여 미세 조정이 이루어졌다. P4→P2 경로 8채널의 경우도 마찬가지로 방법으로 위상을 -90°로 제어 보정하여 두 경로간의 위상차를 180°로 조정하였다.

보정후 채널간 이득 편차는 P1→P3 경로 0.5 dB, P4→P2 경로 0.53 dB이며, 그림 15는 경로간 위상차를 보정 후 두 경로의 8채널 시간 경과에 따른 위상차 결과를 나타낸다. 이때 시간에 따른 위상차를 측정 한 이유는 발열이 많은 고출력 Amp의 냉각을 위해 냉매를 사용하게 되는 데 온도 변화에 따른 위상 변화가 채널마다 다르기 때문이다. 정확히는 냉매가 유입되는 첫 번째 채널과 마지막 채널 사이 냉매가 열 교환을 하면서 냉매의 온도가 변화하며, 또 중간에 끼인 채널의 경우 시간이 지날수록 증폭기



(a) P1→P3



(b) P4→P2

그림 15. 경로 보정 후 위상결과
Fig. 15. Phase results after calibration.

의 온도가 다른 채널에 비해 높기 때문에 채널 간 위상차가 크게 나타나게 된다. 시험 초기에는 냉각기의 냉각수 온도를 초기 $\pm 2^\circ$ 범위에서 제어하였으나 위상 변화폭이 커서(P4→P2 경로에서 최대 위상차 $\pm 3.5^\circ$) 요구 성능을 만족할 수 없었다. 따라서, 온도에 따른 채널 간 위상 변화를 최소화하기 위하여 냉각수 온도 변화율을 $\pm 0.5^\circ$ 이내로 변경 제어하였다. 보정 결과 P1→P3 경로 8채널의 위상차는 $\pm 0.5^\circ$, P4→P2 경로 8채널의 위상차는 $\pm 0.8^\circ$ 이내로 채널 간 위상 정합이 이루어졌고, 채널 간 위상 정합 요구 성능 $\pm 1^\circ$ 이내를 만족함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 모노펄스 센서 기판에 적용되는 크로스 아이 기법에 필요한 다중 주파수 밴드 멀티채널의 위상 정합 성능을 향상시키기 위해, 다중채널 정밀 가변 위상 및 진폭 제어 구조를 새롭게 제안하였다. 광대역 주파수 매칭용 멀티플렉서 구조를 적용하였으며, 각 주파수 대역에서 넓은 범위의 위상 정합을 위해 phase trimmer를 적용

하고, 정밀 위상 정합과 진폭 정합을 위해 TTD(true time delay)와 DCA(digital controlled attenuator)로 구성된 MFC를 동시 적용하여 총 16채널의 위상차가 $\pm 1^\circ$ 이내에 있음을 확인하였다. 본 논문에서는 표현하지 않았지만 제안된 2중 대역 위상/진폭 매칭구조를 사용하여 제작된 PRCJ에서 역지향성 크로스 아이 기법을 적용하여 제밍능력을 시험하였고, 모노펄스 센서의 각도 기반 능력을 확인할 수 있었다.

또, 채널수가 많을 경우 시간에 따른 위상 변화율이 채널간 다르게 발생하며, 그 차이가 클 경우 일반적인 2채널 네트워크 분석기로는 올바른 보정값을 산출할 수 없었으며, 동시에 최소 8채널의 위상차를 측정하여 보정값을 산출하여야 함을 알 수 있었다. 또, 고출력 증폭기의 방열을 위해 사용되는 냉각수의 온도 변화를 최소화하여 위상 변화율을 줄여야 좋은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] L. B. Van Brunt, *Applied ECM*, Dunn Loring, VA, EW Engineering, 1989.
- [2] F. Neri, "Anti-monopulse jamming techniques," in *International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2001)*, 2001, pp. 45-50.
- [3] W. P. Plessis, "A comprehensive investigation of retrodirective cross-eye jamming," Ph.D. dissertation, University of Pretoria, Pretoria, 2009.
- [4] W. P. Plessis, "Cross-eye gain in multiloop retrodirective cross-eye jamming," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 52, no. 2, pp. 875-882, Apr. 2016.
- [5] Y. Degui, L. Buge, and Z. Dangjun, "Cross-eye gain distribution of multiple element retrodirective cross-eye jamming," *Journal of System Engineering and Electronics*, vol. 29, no. 8, pp. 1170-1179, Dec. 2018.
- [6] T. Liu, X. Wei, and L. Li, "Multiple element retrodirective cross-eye jamming against amplitude comparison monopulse radar," in *International Conference on Signal Processing Proceedings(ICSP 2014)*, 2014, pp.

2135-2140.

- [7] I. Kim, J. Park, G. Kim, B. Park, and Y. Jang, "Study on retrodirective cross-eye structure using linear phased array antenna," *Journal of the KIMST*, vol. 23, no. 1, pp. 11-17, 2020.
- [8] W. P. Plessis, J. W. Odendaal, and J. Joubert, "Experimental simulation of retrodirective cross-eye jamming," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 47, no. 1, pp. 734-740, Jan. 2011.

- [9] J. S. Lim, G. S. Chae, "Analysis of the monopulse radar tracking errors according to the JSR of cross-eye jammer and radar reflection signals," *Journal of Convergent for Information Technology*, vol. 11, no. 8, pp. 23-28, 2021.
- [10] Y. Jang, J. Park, C. Lee, I. Kim, G. Kim, and S. Cho, "Performance experiment of the angle deception of cross-eye jamming against a monopulse sensor," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 2, pp. 146-149, 2018.

김 정 훈 [국방과학연구소/책임연구원]

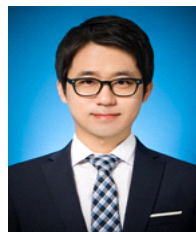
<https://orcid.org/0000-0001-5683-2402>



2010년 8월: 한양대학교 전자공학과 (공학박사)
 2010년 9월~2012년 8월: 한국산업기술시험원 연구원
 2010년 10월~현재: 국방과학연구소 책임연구원
 [주 관심분야] 초고주파 송수신기, 주파수 합성기, 전자파잔향실, 신호정보수집위성, EMI 등

장 연 수 [제주대학교/조교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5401-303X>



2009년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 (공학사)
 2015년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학박사)
 2015년 3월~2023년 2월: 국방과학연구소 선임연구원
 2023년 3월~현재: 제주대학교 통신공학과 조교수
 [주 관심분야] 통신이론, 전자기스펙트럼전, 기계학습 기반 통신 시스템, 광대역 신호처리 등

김 인 선 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6972-4128>



1995년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학석사)
 2005년 8월: 순천향대학교 전자공학과 (공학박사)
 1997년 2월~현재: 국방과학연구소 레이 다전자전센터 책임연구원
 [주 관심분야] RF 수동소자, 송수신기, 안테나

박 진 태 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-4176-6013>



2004년 2월: 국립금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
 2006년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학부 (공학석사)
 2011년 8월: 광주과학기술원 정보기전공학부 (공학박사)
 2011년 11월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 초고주파 송수신기, 광대역 신호처리, 기만신호 생성기 등

김 기 백 [국방과학연구소/수석연구원]

<https://orcid.org/0009-0007-4374-7787>



1989년 2월: 충북대학교 전산기공학과 (공학사)

1991년 2월: 충북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

2011년 8월: 아주대학교 시스템공학과 (공학박사)

1991년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 수석

연구원

[주 관심분야] 전자전 재밍기법, 재밍소프트웨어, 재밍시스템

박 범 준 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0009-0008-1422-6752>



1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)

2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)

2015년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)

2001년 1월 ~ 현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] 광대역 초고주파 수신기, 주파수합성기 등