

TRIZ를 이용한 RF 광기술 시스템 설계 방안

장유신[○], 정병민^{*}

^{○*}한화시스템 연구개발본부

e-mail: yushin.chang@hanwha.com[○]

Design of the RF photonics system using TRIZ method

YuShin Chang[○], ByeongMin Jeong^{*}

^{○*}Dept. of R&D, Hanwha Systems

● 요약 ●

In this paper, a new design method for the RF photonics system using the TRIZ proposes. A noble design scheme the RF photonics system configurations was obtained after application of the TRIZ contradiction analysis.

키워드: 트리즈(TRIZ), RF 광기술 시스템(RF photonics system), 마이크로웨이브 포토닉 (MWP : Microwave Photonic)

I. Introduction

TRIZ를 이용한 RF 광기술 시스템의 설계 방안에 대해 본 논문에서 제안한다. 창의적 문제 해결을 위해 TRIZ(트리즈)를 이용하고 TRIZ는 1946년 러시아의 G.S. 알트슐러(G.S.Altshuller)에 의하여 개발된 이론으로서, Theory of Inventive Problem Solving(창의적 문제 해결 이론)이란 뜻의 러시아어 약자이다. TRIZ 이론은 기술 진화가 외견상으로 우연한 단계로 구성되어 있는 것처럼 보이지만 결국 기술진화는 반복되는 유형을 가진다고 생각했다. 그래서 반복되는 유형들을 통해 나타나는 공통점, 반복되는 패턴, 원리들을 찾기 위해서 수천건의 특허를 연구하여 데이터베이스화함으로써 발상의 전환을 통해 아이디어 도출을 필요로 할 때, 구체적으로 적용할 수 있는 원리와 함께 적절한 가이드 라인을 제공할 수 있다. 1990년대 후반 이후부터, 서방세계에 알려진 TRIZ 이론을 국내, 국외 대기업 R&D분야에서 기존의 개발 방법론으로 해결하지 못한 분야의 문제 해결 아이디어 발상에 적용 가능성을 입증하는 연구가 많이 발표되고 있다.[1, 2]

위상배열레이더는 선형 또는 평면으로 배열된 개별 안테나의 위상을 조절하여 안테나의 빔을 원하는 방향으로 송수신 할 수 있는 시스템이다. 여기서 RF 광기술 시스템인 마이크로웨이브 포토닉(MWP : Microwave Photonic) 필터는 광 신호를 이용하여 마이크로웨이브 주파수 또는 RF 주파수 신호를 처리하는 시스템으로써 RF 필터와 달리 전자파 간섭에 무관하고 FSR (Free Spectral Range)을

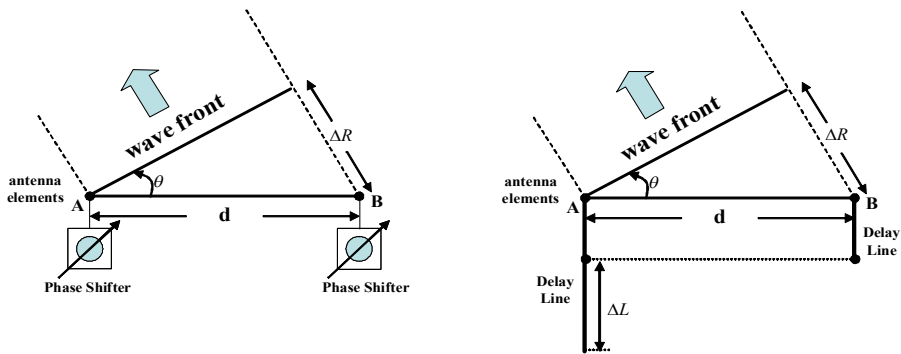
크게 할 수 있어 수 GHz 이상의 대역폭을 얻을 수 있다는 장점이 있고 또한 여러 채널의 신호를 동시에 보낼 수 있는 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 기술을 이용할 수 있는 장점이 있어 레이더 시스템, 미사일 유도 시스템, 위성통신 시스템 등의 신호처리 용도로 사용된다.

현재까지 제안된 MWP 필터의 구조는 광섬유 격자 배열(FBG : Fiber Bragg Grating)을 이용하는 방식, FBG와 이진 광섬유 지연선로(BFTD : Binary Fiber Time-delay)를 이용한 방식, 다채널 칩 광섬유 격자 (CFG : Chirped Fiber Grating)를 이용한 방식 등이 있다. 여기서 TRIZ 방법론을 사용하여 RF 광기술 시스템의 설계단계에서 발생하는 문제속의 모순을 발굴하고 자원 분석 및 활용을 통하여 이상성 향상 검증 등의 3대 핵심 개념 및 고유의 도구(tool)들을 적용하여 문제에 대한 혁신적 해결책을 파악하는 과정에 대해 제안한다.[3, 4, 5]

II. Preliminaries

1. Contradiction Define

TRIZ의 첫 단계로 문제에 대한 모순을 도출하기 위해 모순의 종류를 구분한다. 첫 번째 설계단계에서 발생된 문제를 기술적 모순(Technical Contradiction) 관점에서 기능(parameter)의 모순으로 구성을 정의한다. 여기서 TRIZ 방법론을 사용하여 장치의 설계단계에서 발생하는 문제속의 모순을 발굴하고 자원 분석 및 활용을 통하여 이상성 향상 검증 등의 3대 핵심 개념 및 고유의 도구(tool)들을 적용하여 문제에 대한 혁신적 해결책을 파악하는 과정에 대해 제안한다



(a) 위상 천이기를 이용한 방식 (b) 실시간 지연선로 방식

Fig. 2. 위상배열 안테나의 빔 주사 제어 방식.

다. 단계별로 보면 다음과 같다. 첫 번째 단계로 RF 광기술 시스템의 설계단계에서 기술적 모순 또는 물리적 모순을 정의한다. 두 번째 단계로 유효적이며 유용한 자원을 활용한다. 즉, 시스템이나 시스템 가까이 있는 자원으로부터 쉽게 만들어지는 에너지, 재료, 대상, 정보 등을 활용하며, 시스템에 해로운 요소까지도 긍정적 자원으로 전용할 것을 확인한다. 세 번째 단계로 시스템의 이상성을 증가시킨다. 다시 말해, 유해한 기능은 최소화하고 유용한 기능은 최대화하는 이상적인 최종결과(IFR : Ideal Final Result)를 지향하는 해결책을 검토하고 선택하여 비용 및 유해한 영향 없이 원하는 이익을 산출한다. 즉, 모든 개선안 도출시 가능한 자원에 대한 고찰을 통하여 비용의 절감 및 이상성(Ideality)을 극대화 시킨다.[6]

가능하나 시스템의 부피와 무게, 그리고 전력 소모가 큰 단점이 있다. 또한 위상 천이기의 위상 천이가 RF 주파수에 관계없이 일정하므로, RF 주파수에 따라 주 빔의 각도가 변화하는 빔 스퀴트 현상이 발생한다.

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\lambda \Delta \phi}{d 2\pi} \quad (2)$$

식 (2)는 위상 천이기의 위상 천이, $\Delta \phi$ 에 따라서 배열 안테나로부터 방사되는 주 빔의 각도, θ 를 보이는 수식이다. λ 는 RF 신호의 파장이다. 식 (2)에서 볼 수 있듯이 위상배열 안테나로부터 방사되는 주 빔의 각도는 RF 신호 주파수가 증가함에 따라 감소함을 볼 수 있다. 그러나 Fig 2(b)와 같은 실시간 지연선로 주사 방식은 경로차, ΔR 만큼의 거리를 입력되는 신호들이 먼저 진행하게 함으로서 개별 안테나에 입력되는 신호의 위상을 조절하여 주사 빔의 방향을 제어하는 방식이므로 RF 주파수에 관계없이 동일한 방향으로 빔을 주사할 수 있는 장점이 있다.

2. Phased Array Antenna

개별 안테나의 위상을 조절하여 위상배열 안테나로부터 방사되는 주사 빔 각도를 제어하는 위상배열 안테나 원리를 보이는 그림이다. 위상배열 안테나로부터 방사되는 주사 빔의 각도, θ 와 배열 안테나를 구성하는 인접한 개별 안테나에서 방사되는 전자파의 경로차, ΔR 를 나타낸 관계식은 다음과 같다.

$$\Delta R = d \sin \theta \quad (1)$$

여기서, d 는 배열 안테나를 구성하는 인접한 개별 안테나 사이의 거리이다.

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\Delta L}{d} \quad (3)$$

식 (3)은 시간지연 방식에 따른 개별 안테나에 연결된 지연선로, ΔL 와 배열 안테나로부터 방사되는 주 빔 각도, θ 의 관계식이다. 식 (3)에서 볼 수 있듯이 지연선로를 이용하는 방식의 주사 빔 각도는 RF 주파수 신호에 관계없이 인접 안테나에 입력되는 신호의 지연선로 길이에 따라 제어됨을 알 수 있다.

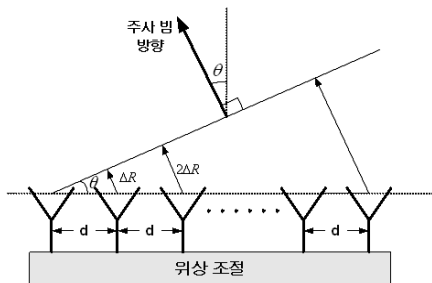
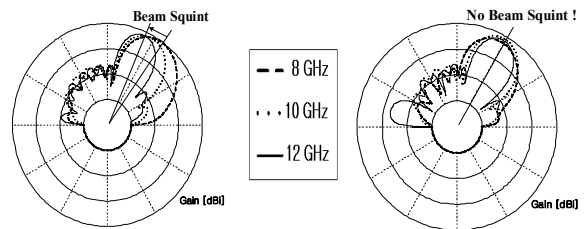


Fig. 1. 위상배열 안테나

위상배열 안테나로부터 방사되는 주사 빔의 방향을 변화시키는 위상 조절 방식을 보이는 그림이다.

Fig. 2(a)와 같은 위상 천이기를 이용하는 방식은 위상 천이기의 위상을 0에서 2π 까지 조절할 수 있기 때문에 고 지향성의 빔 주사가



(a) 위상 천이기 방식 (b) 실시간 지연선로 방식

Fig. 3. 주파수 변화에 따른 배열 안테나 방사 패턴.

Fig 3은 X 밴드 주파수 변화에 따른 8 소자 배열 안테나의 방사 패턴을 보이는 그림이다. 위상 천이기를 이용하는 방식은 RF 주파수가 증가함에 따라 주사 빔의 방향이 감소하는 빔 스퀴트 현상을 보이고

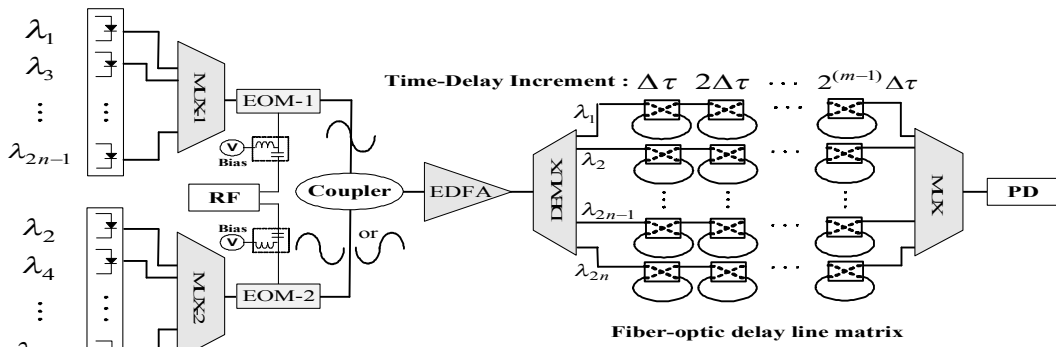


Fig. 4. 광섬유 지연선로 행렬을 이용한 방식.

있다. 그러나 실시간 지연선로 방식은 주파수에 관계없이 주사 빔의 방향이 항상 일정한 것을 볼 수 있다.

3. Microwave Photonic Filter

다파장 광원과 두 개의 광 변조기와 광섬유 지연선로 행렬을 이용하는 MWP 필터의 개념도는 다음 그림과 같다. 제안된 MWP 필터 구조는 $\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{2n-1}$ 과 $\lambda_2, \lambda_4, \dots, \lambda_{2n}$ 로 구성되는 두 그룹의 다파장 광원, 두 개의 광 다중화기 (MUX-1, MUX-2), 두 개의 광 변조기 (EOM-1, EOM-2), 1×2 광 결합기 (Coupler), 광 증폭기 (Erbium Doped Fiber Amplifier; EDFA), 크로스 포트에 광섬유 지연선로가 연결된 2×2 광 스위치들로 구성된 광섬유 지연선로 행렬, 광섬유 지연선로 행렬을 묶는 한 쌍의 광 역다중화기/다중화기 (DEMUX/MUX), 그리고 광 검출기 (PD : Photo-Detector)로 구성 설계 방안을 제안한다.

광 변조기의 전송함수 특성곡선은 다음 그림과 같다. 동일한 위상의 RF 입력 신호에 대하여 광 변조기 바이어스 전압을 조절함으로써 출력신호의 위상이 180도 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 입력 바이어스 전압이 2V와 4V일 때 변조지수(Modulation Index : MI)가 최대이고 광 변조 신호의 RF 위상이 180도 다른 광 변조기 EOM-1과 EOM-2의 사용을 제안한다.

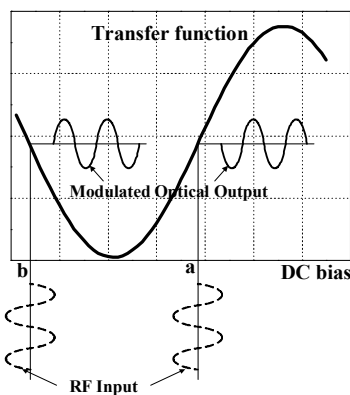


Fig. 5. 광 변조기의 전송함수 특성 곡선.

III. Conclusions

본 논문에서 TRIZ를 이용한 새로운 RF 광기술 시스템의 설계 방안에 대해 제안하였다. 위상배열레이더는 선형 또는 평면으로 배열

된 개별 안테나의 위상을 조절하여 안테나의 빔을 원하는 방향으로 송수신 할 수 있는 시스템이다. 이 때 마이크로웨이브 포토닉 (MWP) 필터는 광 신호를 이용하여 마이크로웨이브 주파수 또는 RF 주파수 신호를 처리하는 시스템으로써 RF 필터와 달리 전자파 간섭에 무관하고 FSR (Free Spectral Range)을 크게 할 수 있어 수 GHz 이상의 대역폭을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 여러 채널의 신호를 동시에 보낼 수 있는 WDM 기술을 이용할 수 있는 장점이 있어 레이다 시스템, 미사일 유도 시스템, 위성통신 시스템 등의 응용분야에 있어서 신호처리 용도로 사용된다. 여기서 TRIZ 방법론을 사용하여 RF 광기술 시스템의 설계단계에서 발생하는 문제속의 모순을 발굴하고 자원 분석 및 활용을 통하여 이상성 항상 검증 등의 3대 핵심 개념 및 고유의 도구(tool)들을 적용하여 문제에 대한 혁신적 해결책을 파악하는 과정에 대해 제안하였다.

REFERENCES

- [1] 장유신, 허형조, “TRIZ를 적용한 지뢰탐지 실험플랫폼 제어시스템 모순 분석,” 한국정밀공학회 추계학술대회, pp.122-123, 2015.
- [2] Victor. F. and Eugene. R., “Innovation on Demand : New Product Development Using TRIZ,” Cambridge University Press, 1st Ed., 2005.
- [3] J. Hervas, A. L. Ricchiuti, W. Li, N. H. Zhu, C. R. Fernandez-Pousa, S. Sales, M. Li, and J. Capmany, “Microwave Photonics for Optical Sensors,” IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., vol. 23, no. 2, March/April 2017.
- [4] Jianping Yao, “Photonics to the Rescue: A Fresh Look at Microwave Photonic Filters,” IEEE Microwave Magazine, vol. 16, no. 8, pp. 46-60, Sep. 2015.
- [5] Byung-Min Jung and Jianping Yao, “A Two-Dimensional Optical True Time-Delay Beamformer Consisting of a Fiber Bragg Grating Prism and Switch-Based Fiber-Optic Delay Lines,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 21, no.

10, pp. 627-629, May 2009.

- [6] 장유신, 김상균, 허형조, “TRIZ를 이용한 서보구동장치 설계,”
정보 및 제어학술대회 CICS 2017, pp.1-2, 2017.