
LS 밴드용 역지향성 능동배열 안테나 설계

전중창*

Design of a Retrodirective Active Array Antenna for the LS Band

Joong-Chang Chun*

요 약

본 논문에서는 2 GHz LS 대역에서 동작하는 역지향성 능동배열 안테나가 설계 제작되었다. 역지향성 안테나는 임의의 방향에서 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려 복사시키는 안테나 배열 시스템으로서, 반사파가 입사 반대 방향으로 파면(wave front)을 갖도록 하기 위한 공액 위상변위기가 포함된 능동 안테나 배열로 구성된다. 본 연구에서는 RF/IF 신호포트와 LO 포트에 이루어진 2-포트 게이트 HEMT 혼합기와 1/4파장 모노폴 안테나 배열(1×4)을 사용하여 역지향성 능동배열 안테나를 구현하였다. 제작된 배열 안테나의 역지향 특성을 실험 측정하고, 이론적 예측치와 비교하여 잘 일치함을 확인하였다. 모노폴 안테나 배열은 구조가 간단하여 제작이 용이한 장점을 가지며, 본 연구결과는 무선 이동통신, 무선 실내 LAN 및 RFID 등의 기지국 및 트랜스폰더 장치에 직접 적용 가능하다.

ABSTRACT

In this paper, we have developed a retrodirective active array operating in the 2 GHz LS band. The retrodirective array has the property of redirecting any electromagnetic wave back to the incoming direction without any priori informations. The system is integrated with phase conjugators and antenna array. Microwave phase conjugators can be implemented by microwave mixers. In this research, 2-port gate mixers using pHEMT and 1×4 monopole array have been used to achieve the retrodirectivity. The measured results have been compared with the theoretical prediction, and it has been shown that there exists a reasonable agreement between them. The monopole array can be used easily in many areas for simplicity and cost-effective property, and the retrodirective array developed in this research can be applied directly in the base station facilities for the wireless mobile communications, indoor wireless LAN and RFID transponders.

키워드

역지향성 배열, 능동안테나, 공액 위상 변위기, 2-포트 혼합기, 게이트 혼합기

I. 서 론

PCS, IMT-2000, 무선 LAN, ITS 등과 같은 무선 이동통신 서비스는 현대의 정보통신 사회에서 중추적 역할을 하고 있으며, 통신품질의 개선을 위한 안테나 시스템 개발의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 따라서 기존의 고정빔 안테나의 제약성을 개선하기 위해서 자동 빔 조향이 가능

한 역지향성 안테나에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1]-[3]

역지향성 안테나는 임의의 방향에서 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려 복사시키는 안테나 배열 시스템으로, 1959년 Van Atta에 의하여 처음으로 그 개념이 제안되었으며[4], 1964년 Pon에 의하여 헤테로다인 기법에 의한 설계이론이 도입되었다.[5] 이 역지향 특성은 Snell의 법칙

을 따르는 일반적인 반사판과는 전혀 다른 개념의 복사특성을 의미하는 것으로, 차세대 이동통신의 기지국 안테나로서 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다. 여러 개의 위상 변위기와 신호처리 알고리즘을 사용하는 위상 배열을 이용하는 기존의 스마트 안테나와는 달리, 역지향성 능동 안테나는 신호처리부를 사용하지 않고 빔 추적 기능을 나타낸다. 역지향성 안테나의 용도에는 이동통신 분야뿐만 아니라 원격 센서, RFID, 피아식별 및 구난용 트랜스폰더 등에도 적용될 수 있다.[1],[6]

역지향성 안테나의 핵심 원리는 입사 신호와 공역위상을 갖는 복사전파를 발생시키는 것으로 주파수 혼합기가 이 목적으로 사용된다.[5] 역지향성 안테나의 주파수 혼합기는 일반적인 주파수 혼합기와 달리, RF 주파수의 2배인 LO 주파수를 가지며, IF 주파수는 RF 주파수와 비슷한 크기를 갖는다. 따라서 게이트 혼합기 구조는 LO 및 RF 신호를 결합하기 위한 다이플렉서 및 입력단 임피던스 정합이 용이하지 않은 단점이 있다. 본 논문에서는 RF 신호와 IF신호를 드레인 단에서 공통으로 사용하는 게이트 혼합기 구조를 채택하여 이 문제점을 극복하였다.[6]

본 논문에서는 위상공역 변위기로 사용하기 위해서 p-HEMT를 사용하여 2 GHz의 RF 신호를 처리 할 수 있는 게이트 혼합기가 설계 제작되었으며, 1/4파장 모노폴 안테나 배열(1×4)을 사용하여 역지향성 능동배열 안테나를 구현하였다. 역지향 특성을 검증하기 위해서, 90도 및 135도 방향의 입사파에 대한 역지향 특성을 실험 측정하여, 이론적 예측치와 비교하였다. 실험을 통하여 역지향 특성의 구현을 확인하였으며, 본 연구결과는 무선 이동통신 및 RFID 등의 기지국 장치에 적용 가능하다.

II. 역지향성 능동배열 안테나의 동작원리

역지향성 안테나는 크게 안테나 배열부분과 공역 위상변위기로 이루어진다.[1],[2] 공역 위상변위기는 출력 신호의 위상을 입력신호와 공역관계가 되도록 하는 기능을 하며, 주파수 혼합기와 같은 구조로 구현된다. 그림 1은 3-포트 혼합기를 사용한 2 GHz 대역의 공역 위상변위기의 개념을 도시하였다. 즉, LO 신호 주파수와 RF 신호 주파수를 각각 f_{LO} , f_{RF} 라고 할 때, $f_{LO} \approx 2f_{RF}$ 로 설정하면, 혼합기 IF단 출력신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.[1]

$$V_{IF} = V_{RF} \cos(2\pi f_{RF}t + \phi_n) \cdot V_{LO} \cos(2\pi f_{LO}t) = \frac{1}{2} V_{RF} V_{LO} [\cos\{2\pi(f_{LO} - f_{RF})t - \phi_n\} + \cos\{2\pi(f_{LO} + f_{RF})t + \phi_n\}] \quad (1)$$

여기서 ϕ_n 은 RF 입력신호의 위상을 나타내며 아래 측파대의 신호만을 추출하면, 아래 식과 같이 IF 출력의 위상은 $-\phi_n$ 으로서 입력위상과 상호 공역 관계를 만족한다.

$$V_{IF} = \cos\{2\pi(f_{LO} - f_{RF})t - \phi_n\} = \cos(2\pi f_{RF}t - \phi_n) \quad (2)$$

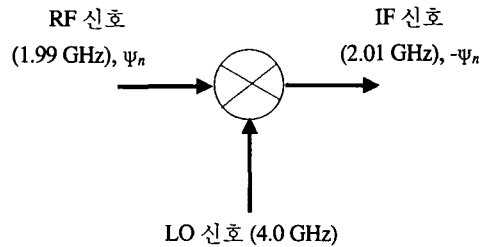


그림 1. 혼합기를 사용한 공역 위상변위기
Fig. 1 Phase conjugation using a mixer

그림 2는 공역 위상변위기를 사용한 역지향성 배열의 동작 원리를 설명한다. 우선, 배열의 n 번째 소자에 입사하는 전파를 고려하여, 임의의 방향으로 입사하는 입사파의 기준면 위상을 $\phi_{ref} = 0$, 기준면과 안테나 입력단 사이의 거리를 L_n 이라고 하면, 안테나 입력신호의 위상은 $\phi_{input} = -k_0 L_n$ 가 된다. 여기서 $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ 는 자유공간에서 파수를 나타낸다. 공역 위상변위기의 위상변화를 $\Delta\phi$ 라고 하면, 안테나 출력신호의 위상 ϕ_{output} 은 다음과 같이 된다.

$$\phi_{output} = \phi_{input} + \Delta\phi = -k_0 L_n + \Delta\phi \quad (3)$$

이 신호가 기준면에 도달했을 때의 위상 ϕ_{return} 은

$$\phi_{return} = \phi_{output} - k_0 L_n = -2k_0 L_n + \Delta\phi \quad (4)$$

이며, 입사 반대 방향으로 복사하기 위한 조건은 각 배열

소자로부터의 복사파 위상이 기준면에서 동위상(in-phase)으로 중첩되는 것이다. 기준면에서 복사파의 위상을 $\phi_{return} = 0$ 로 놓으면, 위상변위기에서 $\Delta\phi = 2k_0L_n$ 을 만족하면 된다. 따라서, 식 (3)으로부터 안테나 출력신호 위상은

$$\phi_{output} = -k_0L_n + \Delta\phi = k_0L_n \quad (5)$$

이 되며, 이것은 입력위상 $\phi_{input} = -k_0L_n$ 와 위상 공액 관계가 성립한다.

그림 2에서와 같이 각 안테나 사이의 간격을 d , 안테나 개수를 N 이라고 하면, 입사각이 θ_0 일 때의 배열계수 $f(\theta)$ 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$f(\theta) = \frac{\sin [k_0Nd(\cos\theta - \cos\theta_0)/2]}{\sin [k_0d(\cos\theta - \cos\theta_0)/2]} \quad (6)$$

따라서 개별 안테나의 복사 패턴이 $W_{av}(\theta)$ 인 경우

$W_{av}(\theta)$ 는

$$W_{av}(\theta) = \frac{\cos^2(0.5\pi\cos\theta)}{\sin^2\theta} \quad (8)$$

로 근사화 된다.

식 6으로부터, 180도 범위 내에서 배열에 의한 그레이팅 로브(grating lobe)가 발생하지 않기 위해서는 아래의 식을 만족해야 한다.

$$|1 - \cos\theta_0| < 1 + |\cos\theta_0| < \frac{\lambda_0}{d} \quad (9)$$

따라서, 조향각 θ_0 를 구현하기 위한 복사 소자 사이의 거리 d 는 아래 조건을 만족하도록 설계되어야 한다.

$$d < \frac{\lambda_0}{1 + |\cos\theta_0|} < \frac{\lambda_0}{2} \quad (10)$$

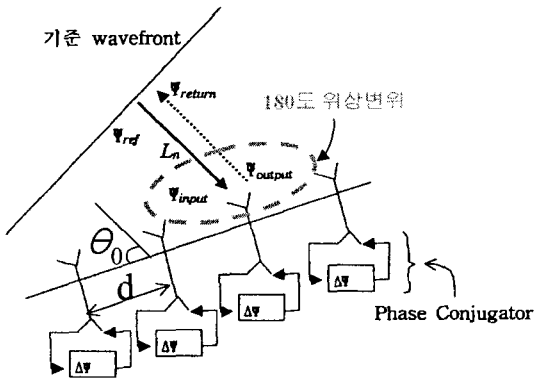


그림 2. 공액 위상변위기를 사용한 역지향성 배열 안테나의 구성도
Fig. 2 System configuration of retrodirective array

우, 지향성 곱의 원리를 적용하면, 배열의 합성 지향성 $F_{array}(\theta)$ 는 다음 식과 같다.[7]

$$F_{array}(\theta) = f^2(\theta) W_{av}(\theta) \quad (7)$$

이 식은 역지향성 배열의 이론적 특성 예측에 사용되어지며, 복사 소자가 모노폴 안테나일 경우 복사패턴

III. 역지향성 배열 안테나의 제작 및 측정

본 연구에서 제작된 역지향성 능동배열 안테나는 RF/IF 공통 신호포트 및 LO 포트에 이루어진 2-포트 게이트 HEMT 혼합기와 1/4파장 모노폴 안테나 배열(1x4)로 구성되었다. 2-포트 게이트 HEMT 혼합기의 공액 변위기는 참고문헌 [8]에 설계과정 및 측정결과가 보고되어 있으며, -15 dBm의 1-dB 역압점과 변환손실 -1 dB를 갖는다.

기본 복사기로 사용된 $\lambda/4$ 모노폴 안테나는 비교적 정합이 용이하며 전방향성 복사특성을 가지므로 대부분의 이동통신 단말기에 사용되고 있다. 본 연구에서는, 단축 효과를 고려하여, 길이가 35 mm인 모노폴 안테나를 사용하였으며, 입력반사는 중심 주파수 2 GHz에서 S_{11} 이 -27 dB로 우수한 임피던스 정합을 보였으며, -10 dB 기준 대역폭은 140 MHz(7%)의 특성을 갖는다.

역지향성 능동배열은 윌킨슨 전력분배기를 사용하여 구성된 Single Ended 2-Port 혼합기와 $\lambda/4$ 모노폴 안테나 조합 4 개를 사용하여 제작되었다. 역지향성 배열 안테나의 PCB 패턴을 그림 3에 도시하였다. 복사 소자 사이의 간격은, 식 (10)을 만족하도록, $d=51$ mm로 설계되었다.

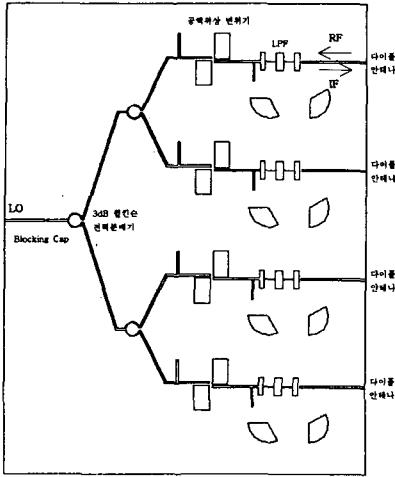


그림 3. 역지향성 배열 안테나의 PCB 패턴
Fig. 3 PCB pattern layout for the retrodirective array antenna

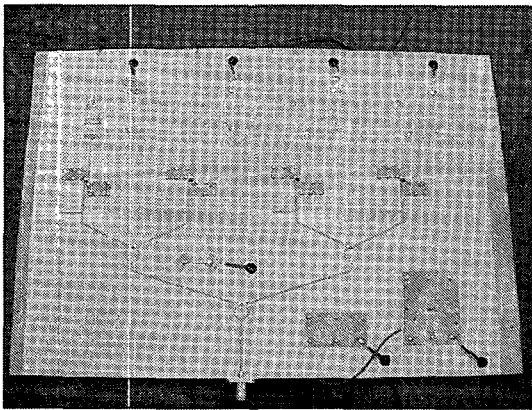


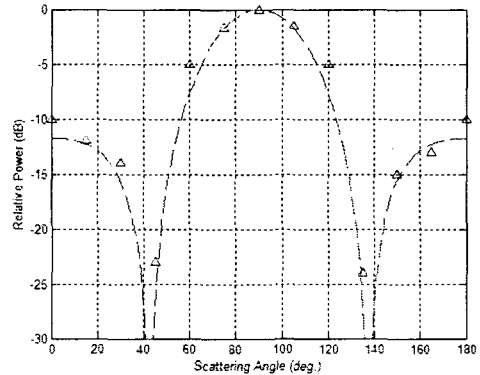
그림 4. 제작된 역지향성 배열 안테나
Fig. 4 The retrodirective array antenna fabricated in this research

역지향성 배열 안테나는 습식 식각방법을 사용하여, 유전율 6.15, 두께 25 mil의 Rogers RO3006 기판에 제작되었으며, 그림 4에 제작된 결과물의 사진을 보였다. 배열 안테나의 역지향성을 측정하기 위해 송수신 안테나 사이의 거리를 80 cm로 두고, EMCO ETS 3115 표준이득 안테나를 사용하여 90° 및 135° 방향으로 입사된 입사파에 대한 반사파의 크기를 $\lambda/4$ 모노폴 안테나와 LG SA-970 스펙트럼 분석기로써 측정하였다. 측정 결과는 표 1과 같으며, 입사각에 따른 반사파의 상대적 크기가 역지향성을

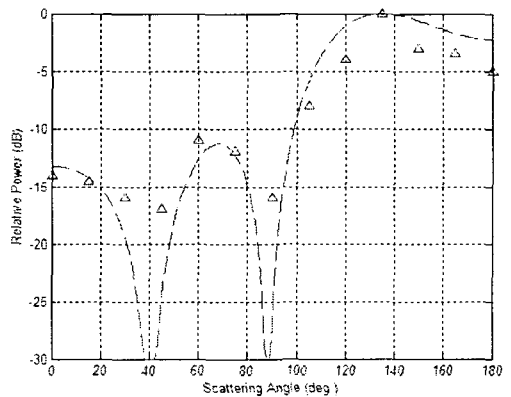
나타내게 된다. 그림 5는 측정 데이터와 이론적 예측치를 비교하여 도시한 것이다.

표 1. 역지향 안테나의 측정결과
Table 1. Measured results for the retrodirective antenna

측정각도	90도 입사		135도 입사	
	측정치(dB)	이론치(dB)	측정치(dB)	이론치(dB)
0°	-10	-11.8	-14	-13.2
30°	-14	-15.6	-16	-19.4
60°	-5	-7.6	-11	-12.6
90°	0	0	-16	-27.2
120°	-5	-7.6	-4	-1.1
150°	-15	-15.6	-3	-0.6
180°	-10	-11.8	-5	-2.3



(a) 90도 입사각에 대한 역지향 반사특성
(a) Retrodirective characteristic for 90o incidence



(b) 135도 입사각에 대한 역지향 반사특성
(b) Retrodirective characteristic for 135o incidence

그림 5. 역지향 특성 측정결과 (Δ : 측정, ---: 이론)
Fig. 5 Measured results for retrodirective characteristics (Δ : measured data, ---: theory)

그림 5로부터 입사각도의 변화에 따라 반사파가 최대 로 되는 방향도 동일하게 변함으로서, 제작된 안테나에 서 역지향 특성이 구현됨을 확인할 수 있다. 특히, 135도 와 같은 경사 입사의 경우, 역지향 반사특성에 의하여 배 열의 복사패턴의 변화로, 무선 링크의 S/N비 개선에 효과 가 클 것이 예측된다. 다른 입사각에 대하여도 비슷한 결 과를 얻을 수 있었으며, 그림 5의 이론적 예측치는 식 (6)~(10)으로부터 도출되었다. 측정 데이터와 이론적 예 측치는 LO 신호 분배의 위상오차, 모노폴 안테나의 패턴 모델링 오차, 측정환경의 주변영향 등에 의하여 약간의 차이를 보이고 있지만, 기존에 발표된 다른 보고결과[1] 와 견주어 볼 때, 비교적 잘 일치하는 것으로 판단된다. 기 존의 논문[1],[6]에서는 주로 마이크로스트립 구조의 패 치안테나 배열에 대한 연구가 이루어진 반면에, 본 논문에 서는 전방향성을 갖는 모노폴 소자를 이용하여 역지향성 배열을 구현하였다. 모노폴 안테나 배열은 구조가 간단 하고 제작이 용이하므로, 무선 이동통신, 실내 무선 LAN 등의 기지국 및 AP(access point) 등에 적용하기가 훨씬 용 이할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 4.0 GHz의 LO 신호를 사용하여, 하향링 크 및 상향링크의 중심주파수가 각각 1.99 GHz 및 2.01 GHz인 능동 역지향성 안테나 배열을 제작 실험하여, 역 지향 특성을 구현하였다. 안테나 배열은 1×4 구조의 1/4 파장 모노폴 배열로 구성되었으며, 90도 및 135도 방향의 입사파에 대하여 역지향 반사특성의 측정 데이터와 이론 적 예측치를 비교 도시하였다. 특히, 경사 입사전파에 대 하여 역지향 반사특성에 의한 배열의 복사패턴의 자동 변화는 무선 링크의 S/N비 개선에 효과가 매우 클 것으로 예측된다. 모노폴 안테나 배열은 구조가 간단하여 제작 이 용이하므로, 본 연구결과를 링크 이득과 빔 추적 기능 이 중요한 무선 이동통신, 실내 무선 LAN 및 RFID 등의 기지국 및 트랜스폰더 장치에 적용 가능하다.

참고문헌

- [1] R. Miyamoto, T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communications," *IEEE Micro-wave Magazine*, pp. 71-79, Mar. 2002.
- [2] K. Chang, R. York, P. Hall, T. Itoh, "Active Integrated Antennas," *IEEE Trans. Micro-wave Theory Tech.*, pp. 937-944, Mar. 2002.
- [3] L. DiDomenico, G. Rebeiz, "Digital communications using self-phased arrays," *IEEE Microwave Theory Tech.*, pp. 677-684, April 2001.
- [4] L.G. Van Atta, "Electromagnetic reflector," U.S. Patent 2,908,002, Oct. 6, 1959.
- [5] C. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, pp. 176-180, Mar. 1964.
- [6] R. Miyamoto, Y. Qian, T. Itoh, "An active integrated retrodirective transponder for remote information retrieval-on-demand," *IEEE Microwave Theory Tech.*, pp. 1658-1662, Sept. 2001.
- [7] 강정진, 최신안테나공학, pp. 155-161, 1997.
- [8] 전중창, 김태수, 김현덕, "역지향성 능동배열 안테나 용 2-Port 주파수 혼합기의 설계," 한국해양정보통신 학회논문지, 제9권, 제2호, pp. 397-401, 2005년 4월.

저자소개

전 중 창(Joong-Chang Chun)



1984년 2월: 경북대 전자공학과
 1991년 2월: 포항공대 전자전기공 학과(공학석사)
 1995년 2월: 포항공대 전자전기공 학과(공학박사)

1995년 3월~1997년 2월: 한국통신 연구개발본부
 1997년 3월~2003년 2월: 위덕대학교 정보통신공학과 조교수

2003년 3월~ : 진주산업대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야: 마이크로파 회로 및 센서 시스템, 안테나 해석 및 설계, 능동 배열 안테나, 무선 이동통신