이중 루프의 중첩 빔을 이용한 재구성 빔 조향 안테나

Reconfigurable Beam Steering Antenna Using Superposed Beam of Double Loops

김 재 영 · 정 창 원

Jae-Young Kim · Chang Won Jung

요 약

본 논문에서는 이중 루프(double loops)를 이용한 새로운 재구성(reconfigurable) 빔 조향(beam steering) 안테나를 제안하였다. 이중 루프 안테나는 내부 루프(inner loop)에 의한 동상(in-phase)의 빔과 외부 루프(outer loop)에 의한 이상(out-of-phase)의 빔이 중첩된 빔(superposed beam)을 가진다. 또한, 이중 루프 안테나는 내부 루프와 외부 루프를 연결하는 두 개의 가상 스위치(artificial switch)를 사용하여, 가상 스위치 동작(on/off)에 따라 동일한 안테나에서 서로 다른 세 가지 경우(Case 1, Case 2, Case 3)의 빔 방향(beam direction)을 가진다. 안테나의 동작 주파수는 14.5 GHz이며, Case 1에서의 최대 빔 방향은 $\phi_{\max}=0^\circ$, $\theta_{\max}=0^\circ$ 이고, Case 2와 Case 3에서의 최대 빔 방향은 각각 $\phi_{\max}=230^\circ$, $\theta_{\max}=40^\circ$ 와 $\phi_{\max}=130^\circ$, $\theta_{\max}=40^\circ$ 이다. 각 경우의 최대 이득(peak gain)은 6.5 dBi(Case 1), 7.6 dBi(Case 2), 7.8 dBi(Case 3) 값을 가지며, 각각의 반전력 빔 폭(HPBW)은 $86\sim104^\circ$ 이며, 3가지 빔에 의한 전체 반전력 빔 폭(HPBW)은 160° 이다.

Abstract

A novel reconfigurable beam steering antenna using double loops is proposed. The double loop antenna has a superposed beam which is produced by combining the in-phase beam in the inner loop with the out-of-phase beam in the outer loop. Also, the double loop antenna uses two artificial switches to connect between inner loop and outer loop, and has the beam directions of three separate cases(Case 1, Case 2, Case 3) by changing ON/OFF states of switches. The operation frequency of the antenna is 14.5 GHz, and three maximum beam directions of the antenna are $\phi_{\max}=0^\circ$, $\theta_{\max}=0^\circ$ (Case 1), $\phi_{\max}=230^\circ$, $\theta_{\max}=40^\circ$ (Case 2) and $\phi_{\max}=130^\circ$, $\theta_{\max}=40^\circ$ (Case 3). The peak gains of each case are 6.5 dBi(Case 1), 7.6 dBi(Case 2) and 7.8 dBi(Case 3). The half power beam width(HPBW) of each case is $86\sim104^\circ$, and the overall HPBW is 160° .

Key words : Reconfigurable Antenna, Beam Steering Antenna, Double Loop, Superposed Beam, Planar Antenna

I. 서 론

현재 원하는 방향으로 안테나의 빔을 조향할 수 있는 빔 조향 안테나 연구가 활발히 진행되고 있다

[1]~[11]. 빔 조향 안테나는 지향성을 높인 여러 개의 빔을 형성하여 원하는 방향으로 신호를 더욱 강하게 송, 수신할 수 있고, 그 외의 간섭 신호들은 억제할 수 있는 안테나이다. 이를 통해 송신기 혹은 수신기

「이 논문은 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0005692)」

서울과학기술대학교 NID융합기술대학원(Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology)

· 논문 번호 : 20110519-039

· 교신저자 : 정창원(e-mail : changwoj@snu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 8월 18일

의 시변 배치 상황에 따라 발생하는 간섭 신호를 줄일 수 있다. 빔 조향 안테나는 크게 다수 개의 안테나를 사용하는 적응형 배열 안테나(adaptive array antenna)와 단일 안테나 소자(single antenna element)를 이용한 방법으로 구분할 수 있다^{[1]~[11]}. 적응형 배열 안테나는 주로 패치 안테나 상에 위상 천이기(phase shifter), 파워 스플리터(power splitters) 등을 이용하여 다수 안테나 소자의 상대 위상을 변화시켜 빔의 방향을 가변할 수 있다. 또한, 단일 안테나 소자를 이용한 빔 조향 안테나는 현재까지 연구된 자료가 많지는 않으나, 스파이럴, 다이폴과 루프 결합 등 특수한 구조의 안테나 상에 다이오드 혹은 micro electro mechanical system(MEMS) 스위치 등을 삽입하여 재구성 안테나(reconfigurable antenna)의 형태로 빔을 조향을 할 수 있는 방법이다. 적응형 배열 안테나는 단일 안테나 소자에 의한 구현 방법보다 높은 이득을 제공하지만, 상대적으로 크기가 크고, 앞에서 언급된 위상천이기 등의 기타 장치를 수반해야 한다는 단점을 가진다. 그러므로 적응형 배열 안테나는 안테나의 크기에 영향을 덜 받는 기지국, 위성 안테나, radar 등에서 주로 사용된다. 하지만 최근 모바일 기기의 소형화에 따라 안테나의 크기에 제한을 받고 있으며, 기존의 무선 AP(Access Point)를 사용하는 무선기기 이외에 ubiquitous sensor network(USN), U-healthcare, 보안 무선 센서 등 소형 모바일 기기에서 높은 효율을 가지고 빔을 스캐닝할 수 있는 빔 조향 안테나에 대한 요구가 지속적으로 있었기 때문에, 이에 따라 단일 안테나 상에서 빔을 조향하는 방법에 대해 지속적인 연구가 진행되어 왔다^{[6]~[11]}.

본 논문에서는 단일 안테나로 빔을 조향할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 안테나는 내부 루프에 의한 동상 빔(in-phase beam)과 외부 루프에 의한 이상 빔(out-of-phase beam) 두 빔의 중첩을 이용하였으며, 두 루프 사이에 두 개의 가상 스위치를 사용하여 세 개의 빔 방향을 갖도록 설계하였다. 이중 루프를 이용한 간단한 구조의 평면형 단일 안테나 상에서 구현되는 빔 조향 방법은 다양한 소형 모바일 기기에 적용할 수 있다. 본문에서는 시뮬레이션과 측정을 통하여 새로운 재구성 빔 조향 방법의 성능을 검증하였다.

II. 이중 루프 안테나 설계

2-1 내부 루프와 외부 루프

그림 1은 내부 루프와 외부 루프의 방사 패턴을 보여준다. 내부 루프의 한 변의 길이(IW)는 6 mm (12.8 GHz에서 약 $\lambda/4$)이고, 외부 루프의 한 변의 길이(OW)는 11.3 mm(12.8 GHz에서 약 $\lambda/2$)이다. 두

(a) 내부 루프의 방사 패턴(기본 주파수: 12.8 GHz)
(a) Radiation pattern of inner loop(the fundamental frequency: 12.8 GHz)

(b) 외부 루프의 방사 패턴(일차 고조파: 12.8 GHz)
(b) Radiation pattern of outer loop(the first harmonic frequency: 12.8 GHz)

그림 1. 내부 및 외부 루프의 시뮬레이션 방사 패턴 결과($\phi=0^\circ$ cut)

Fig. 1. Simulated radiation patterns of inner loop and outer loop($\phi=0^\circ$ cut).

개의 루프 안테나의 폭은 5mm이며, 루프 아랫 부분에서 동축 케이블에 의해 급전된다. 3.175 mm 두께의 Rogers RT/Duroid 5880 기판($\epsilon_r=2.2$, $\tan \delta=0.0009$)을 사용하였고, 기판의 아랫면은 접지(ground)로 구성되었다. 기판의 크기는 20 mm×20 mm이다. 내부 루프의 전체 길이가 약 한 파장(1λ)의 길이로 설계했을 때, 내부 루프는 기본 주파수(fundamental frequency) 12.8 GHz에서 동상(in-phase: $\theta_{\max}=0^\circ$ at $\phi=0^\circ$)의 빔을 생성한다^{[8],[9]}. 또한, 외부 루프의 전체 길이가 내부 루프의 전체 길이의 약 2배(2λ)가 되었을 때, 외부 루프의 첫 번째 고조파(first harmonic frequency) 12.8 GHz에서 이상(out-of-phase: $\theta_{\max}=320^\circ$ at $\phi=0^\circ$)의 빔을 생성한다^{[8],[9]}. 내부 루프의 최대 이득은 6.9 dBi이고, 외부 루프의 최대 이득은 5.2 dBi이다. 그림 2는 내부 루프의 기본 주파수와 외부 루프의 첫 번째 고조파가 같은 주파수 12.8 GHz에서 동작하는 것을 보여준다.

그림 3은 내부 루프와 외부 루프를 결합한 이중 루프의 구조를 보여주고 있다. 내부 루프와 외부 루프의 결합 시, 방사 패턴은 그림 1(a)에서의 내부 루프의 방사 패턴과 같이 동상의 빔을 생성하고, 그림 4와 같이 외부 루프의 기생 소자의 영향으로 주파수는 12.5 GHz로 낮아진다. 이는 외부 루프가 이중 루프에서 기생 소자로 작용하므로 내부 루프 단독으로 동작했을 때보다 커패시턴스(capacitance) 값이 증가했기 때문이다.

그림 2. 내부 루프와 외부 루프의 반사 손실 시뮬레이션 결과

Fig. 2. Simulated return losses of the inner loop and the outer loop.

그림 3. 이중 루프의 안테나 구조

Fig. 3. The antenna geometry of double loops.

그림 4. 이중 루프의 반사 손실 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulated return loss of the double loops.

2-2 재구성 이중 루프 안테나

스위치의 동작 구성에 따라 빔 조향이 가능한 안테나를 그림 5에서 제안하였다. 그림 5는 PCB(Rogers RT/Duroid 5880) 기판 위에 설계된 재구성 빔 조향 안테나의 구성도이다. 재구성 빔 조향 안테나를 설계하기 위해 내부 루프와 외부 루프 사이의 연결선($Br=2.15$ mm)을 가상 스위치(imaginary switches)로 구성하였다. 가상 스위치는 실제 RF 스위치가 아닌 가상의 선을 의미하며, 스위치가 ON인 상태는 두 루프(내부와 외부 루프)가 연결된 상태(short)이며, 스위치가 OFF인 상태라 함은 두 루프가 연결이 되지 않은 상태(open)를 나타낸다.

이러한 가상 스위치를 통해 외부 루프에도 급전이 이루어져 내부 루프와 외부 루프의 중첩 빔을 형성하고, 양각(elevation)의 기울기를 변화시킨다. 가상 스위치의 작동 여부에 따라 세 가지(Case 1, Case

그림 5. 제안된 재구성 빔 조향 안테나의 구조
Fig. 5. The proposed reconfigurable beam steering antenna with two artificial switches.

2, Case 3)의 경우가 발생한다. 표 1에서 보여주듯이 Case 1은 스위치 (1)과 스위치 (2) 모두 ON 상태이고, Case 2는 단지 스위치 (2)만이 ON 상태, 스위치 (1)은 OFF 상태이다. Case 3은 스위치 (1)만이 ON 상태, 스위치 (2)는 OFF 상태이다. 그림 6은 세 가지 경우에서의 반사 손실 시뮬레이션 결과이다. 세 가지 경우 모두 14.1 GHz에서 -10 dB(VSWR 2:1) 이하 값을 갖는다. 그림 3의 경우는 내부 루프의 공진에 의해 12.5 GHz에서 공진하는 것이며, 이와는 다르게, 그림 6의 Case 1, 2, 3의 경우에는 최소한 어느 한 쪽에 스위치가 ON 상태이므로 내부 루프의 전류가 외부 루프로 인가되면서 전류 패턴이 변하여 공진 주파수에 차이가 있으며, 두 스위치가 OFF인 경우는 그림 3과 동일한 12.5 GHz에서 동작을 한다.

그림 7에서는 세 가지 경우의 시뮬레이션된 3D 방사 패턴 결과를 보여준다. Case 1에서는 내부 루프와 외부 루프를 연결하는 두 개의 스위치가 모두 ON된 상태이므로 두 루프에 의한 동상과 이상의 빔이 모두 중첩된 빔으로서 최대 빔 방향은 양각 면에서 중심에 위치하며, $\phi_{\max}=0^\circ$, $\theta_{\max}=0^\circ$ 이다. 그러나

표 1. 가상 스위치의 on/off 상태에 따른 세 가지 안테나 case

Table 1. Three antenna cases by on/off state of the artificial switches.

	Switch 1	Switch 2
Case 1	On	On
Case 2	Off	On
Case 3	On	Off

그림 6. 제안된 안테나의 반사 손실 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulated return losses of the proposed antenna.

Case 2와 Case 3에서는 두 개의 스위치 중 하나의 스위치만 ON이 되는 상태이므로, 두 루프에 의한 중첩된 빔(Case 1)에서 안테나의 구조가 비대칭이 되면서 스위치가 OFF 돼 있는 방향으로 틸트하게 되며, 최대 빔 방향은 Case 2의 경우 $\phi_{\max}=230^\circ$, $\theta_{\max}=40^\circ$ 이고, Case 3의 경우는 $\phi_{\max}=130^\circ$, $\theta_{\max}=40^\circ$ 이다. 또한, Case 2와 Case 3의 방사 패턴은 방위각 또한 변화하게 되는데, 이는 안테나의 급전점이 안테나의 정 중앙에 위치하지 않고 이중 루프의 구조상 중앙에서 +x 방향에 위치하므로 상대적으로 방위각에서도 비대칭을 이루기 때문이다. 또한, Case 2와 Case 3의 최대 빔 방향은 Z축으로부터 대칭적인 양각과 방위각을 가진다. 최대 이득은 Case 1에서 5.32 dBi, Case 2에서 5.83 dBi, Case 3에서 5.78 dBi이다. 그림 8에서는 세 가지 경우의 전계 분포를 보여준다. Case 1은 내부 루프 하단 쪽에 두 개의 강한 전계 벡터가 발생하는 것을 볼 수 있고, Case 2는 내부 루프 하단 우측 쪽에 전계 벡터가 내부 루프의 상단 좌측 쪽으로 방향성을 가지며 강하게 발생한다. 또한, Case 3는 Case 2와 반대로 전계 벡터가 내부 루프의 하단 좌

그림 7. 제안된 안테나의 3D 방사 패턴 시뮬레이션 결과(14.5 GHz)

Fig. 7. Simulated 3D radiation patterns of the proposed antenna(14.5 GHz).

그림 8. 제안된 안테나의 전기장 분포

Fig. 8. E-field distribution of the proposed antenna.

측에서 내부 루프의 상단 우측으로 강한 전기장 벡터를 갖는다. 이에 따라 제안된 안테나는 세 가지 경우의 전기장 분포에서 알 수 있듯이 세 가지 서로 다른 빔 방향을 가짐을 확인하였다.

그림 9은 실제 제작된 세 가지 경우의 재구성 빔 조향 안테나들의 사진이다.

세 가지 경우(Case 1, 2, 3)의 안테나는 향후 실제 두 개의 RF 스위치(다이오드 또는 MEMS 스위치)를 적용한 하나의 재구성 안테나로 구현될 것이며, 바이어스 회로는 그림 10에서 볼 수 있다. 급전점은 Bias-Tee를 사용하여 DC 0 V 상태에서 RF 신호가 인가된다. 또한, 두 개의 RF 스위치(RF switch 1, RF Switch 2)를 작동하기 위해 두 개의 DC 바이어스 회로(DC1, DC2)를 추가하였다. RF-DC 아이솔레이션(isolation)을 위해 DC1, DC2 상에 인덕터 L1과 L2가 삽입되었으며, 두 개의 DC 바이어스(DC1, DC2)의 DC 아이솔레이션을 위해 두 개의 DC block capacitor(C1, C2)가 사용되었다. RF switch를 PIN diode를 사용할 경우, Case 1은 DC1과 DC2가 모두 1 V의 전

그림 9. 제작된 안테나의 사진

Fig. 9. Photograph of the fabricated antennas.

그림 10. RF 스위치를 적용한 바이어스 회로

Fig. 10. Bias circuit using RF switches.

압이 인가되고, Case 2는 DC1에 0 V, DC2에 1 V가 인가되며, Case 3는 DC1에 1 V, DC2에 0 V가 인가된다^[12].

III. 안테나 측정 및 토의

실제 제작된 세 가지 안테나(Case 1, Case 2, Case 3)의 측정된 반사 손실은 그림 11에서 나타내었다. 세 경우 모두 동일하게 14.5 GHz에서 -10 dB(VS-WR 2:1 기준) 이하의 반사 손실 특성을 가진다.

그림 12는 yz-평면에서 측정한 세 가지 경우의 2D 방사 패턴이다. Case 1의 최대 빔 방향은 $\phi=0^\circ$ 컷에서 $\theta_{\max}=0^\circ$ 이고, 반전력 빔 폭은 86° 이다. Case 2의 경우, 최대 빔 방향은 $\phi=50^\circ$ 컷에서 $\theta_{\max}=320^\circ$ 이고, 반전력 빔 폭은 104° 이다. Case 3의 경우, 최대 빔 방향은 $\phi=130^\circ$ 컷에서 $\theta_{\max}=40^\circ$ 이고, 반전력 빔 폭은 104° 이다. 또한, Case 1의 최대 이득은 6.5 dBi, Case 2의 최대 이득은 7.6 dBi, Case 3의 최대 이득은 7.8 dBi이다. 세 가지 빔에 의한 전체 반전력 빔 폭

이중 루프의 중첩 빔을 이용한 재구성 빔 조향 안테나

그림 11. 제안된 안테나의 반사 손실 측정 결과
Fig. 11. Measured return losses of the proposed antenna.

그림 12. 제안된 안테나의 방사 패턴 측정 결과(yz-plane)
Fig. 12. Measured radiation pattern of the antenna (yz-plane).

(HPBW)은 86~104°이며, 세 가지 빔에 의한 전체 반전력 빔 폭(HPBW)은 160°이다. 측정된 이득은 시뮬레이션 결과 값보다 높은 값을 나타낸다. 제안된 안테나의 성능(최대 빔 방향, 최대 이득, 반전력 빔 폭)은 표 2에 요약하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이중 루프를 이용한 재구성 빔 조향 안테나를 설계, 측정 및 분석하였다. 제안된 안테

표 2. 제안된 안테나의 성능 요약(최대 빔 방향, 최대 이득, 반전력 빔 폭)

Table 2. Summary of the maximum beam direction, peak gain, and HPBW.

	Max. beam direction(°)		Peak gain(dBi)	HPBW (°)
	Phi(ϕ)	Theta(θ)		
Case 1	0	0	6.5	86
Case 2	230	40	7.6	104
Case 3	130	40	7.8	104

나는 두 개의 가상 스위치를 이용하여 동일 주파수 (14.5 GHz)에서 서로 다른 세 개의 빔을 조향할 수 있다. 이중 루프의 중첩 빔에 의한 빔 조향 특성은 시뮬레이션과 측정을 통해 확인하였다. 시뮬레이션은 Ansoft사의 HFSS v11을 사용하였다. 제안된 소형의 평면형 단일 안테나로 구현된 빔 조향 방법은 다양한 소형 모바일 기기의 빔 조향 구현에 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] N. Herscovici, C. Christodoulou, and M. Chrysosmalls, "Smart antennas", *IEEE Antennas Propag.*, vol. 42, no. 3, pp. 129-136, Jun. 2000.
- [2] B. Widrow, P. E. Mantey, L. J. Griffiths, and B. B. Goode, "Adaptive antenna systems", *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, no. 12, pp. 2143-2159, Dec. 1967.
- [3] S. Yan, T. Chu, "A beam-steering and -switching antenna array using a coupled phase-locked loop array", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 3, pp. 638-644, Mar. 2009.
- [4] D. F. Sievenpiper, J. H. Schaffner, H. J. Song, R. Y. Loo, and G. Tagonan, "Two-dimensional beam steering using an electrically tunable impedance surface", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 10, pp. 2713-2722, Oct. 2003.
- [5] H. Chen, B.-I. Wu, L. Ran, T. M. Grzegorzczuk, and J. A. Kong, "Controllable left-handed metamaterial and its application to a steerable antenna", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 89, Jun. 2006.

- [6] P. Deo, A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal, P. J. Masssey, and H. Nakano, "Thickness reduction and performance enhancement of steerable square loop antenna using hybrid high impedance surface", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 5, pp. 1477-1485, May 2010.
- [7] S. V. Shynu Nair, Max J. Ammann, "Reconfigurable antenna with elevation and azimuth beam switching", *IEEE Ant. and Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 367-370, Mar. 2010.
- [8] C. W. Jung, M. J. Lee, G. P. Li, and F. De Flaviis, "Reconfigurable scan-beam single-arm spiral antenna integrated with RF-MEMS switches", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 2, pp. 455-463, Feb. 2006.
- [9] H. Nakano, K. Nogami, S. Arai, H. Mimaki, and J.

- Yamauchi, "A spiral antenna backed by a conducting plane reflector", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 34, no. 6, pp. 791-796, Jun. 1986.
- [10] G. H. Huff, and J. T. Bernhard, "Integration of packaged RF MEMS switches with radiation pattern reconfigurable square spiral microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 2, pp. 464-469, Feb. 2006.
- [11] 하상준, 김용진, 정창원 "다이폴 루프 결합형 빔조향 안테나", 한국전자과학회논문지, 21(8), pp. 880-885, 2010년 8월.
- [12] C. W. Jung, Y. J. Kim, Y. E. Kim, and F. De Flaviis, "Macro-micro frequency tuning antenna for reconfigurable wireless communication system", *Electron. Lett.*, vol. 43, no. 4, pp. 201-202, Feb. 2007.

김 재 영

2010년 2월: 서울과학기술대학교 매체공학과 (공학사)
 2010년 9월~현재: 서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원 방송통신 융합프로그램 석사과정
 [주 관심분야] 안테나, Frequency Selective Surface(FSS)

정 창 원

2001년 12월: University of Southern California 전자공학과 (공학석사)
 2005년 6월: University of California, Irvine 전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월~2000년 6월: LG 정보통신
 2005년 7월~2005년 10월: University of California, Irvine, Post Doctor
 2005년 11월~2008년 4월: 삼성종합기술원 전문연구원
 2008년 5월~현재: 서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원 조교수
 [주 관심분야] 안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서