접고 펼침에 따라 다이버시티와 지향성 모드로 변환이 가능한 평면형 안테나 어레이

Diversity and Directivity Mode-Switchable Planar Antenna Array

최 현 형 · 임 성 준

Hyeonhyeong Choe · Sungjoon Lim

요 약

본 논문은 다이버시티 모드와 지향성 모드를 스위치 할 수 있는 평면형 안테나 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 네 개의 안테나 요소들을 한 평면에 배열했을 경우, 높은 격리도를 가지며 다이버시티 모드로 동작한다. 한편, 네 개의 안테나 요소들을 수직으로 적층 배치한 구조는 지향성 모드로 동작한다. 이 경우, 네 개의 안테나 요소들은 적층형 Yagi-Uda 안테나 구조를 따르며, 높은 이득을 갖도록 최적화되었다. 특히, 네 개의 안테나 요소에 두 가지의 급전 방법과 구부러진 급전선을 사용하여 성능을 극대화 시켰다. 2.4 GHz에서 동작하는 제안된 안테나는 시뮬레이션 결과와 실험적인 결과가 일치하는 것을 확인하였으며, 각 모드에서의 성능 또한 입증하였다.

Abstract

In this paper, a novel diversity and directivity mode-switchable planar antenna array is proposed. For the diversity mode, four elements are unfolded on the plane and high isolation can be achieved. On the other hand, the antenna function is changed to the directivity mode when they are folded and stacked. Each element works such as a stacked Yagi-Uda antenna with high directivity. Especially, the curved feed line as well as the hybrid feeding method is used to improve performances. The simulation results agree well with measurement results and it is successfully demonstrated that two modes are properly working at 2.4 GHz.

Key words : Mode-Switchable Planar Antenna, Diversity Mode, Directivity Mode, High Directivity

I. 서 론

지금은 무한한 정보의 시대를 지내고 있다. 이와 함께 사용자들은 편리한 정보의 접근을 원하고 있으며, 이를 위해 기존보다 나은 통신 환경을 요구하고 있다. 특히, 최근의 무선 통신 시장을 살펴보면, 스마트폰 플랫폼의 확장과 관련된 유·무선 통신기기가 점점 늘어나고 있으며, 데이터 사용량이 기하급수적

으로 증가하는 것을 알 수가 있는데, 이와 같은 전개는 데이터 트래픽의 포화 현상과 함께 정보의 접근이 어려워지는 현상으로 변질 우려가 있다. 따라서 보다 나은 무선 통신 환경의 구축은 불가피하며, 이 문제를 해결하기 위한 많은 노력이 진행되고 있다. 그 중에서도, 정보의 효율적 접근을 위한 매개체로써 안테나가 핵심 기술로 다루어지고 있으며, 이와 같은 기술은 무선 통신 장치들에 있어 기본적인 서

「이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2012R1A1A2040160).」
중앙대학교 전자전기공학부(School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University)

· Manuscript received November 30, 2012 ; Revised February 9, 2013 ; Accepted February 19, 2013. (ID No. 20121130-04S)

· Corresponding Author : Sungjoon Lim (e-mail : sungjoon@cau.ac.kr)

비스가 되고 있다^[1].

현재의 무선 통신 환경은 전파의 진행함에 있어 복잡성을 가지고 있다. 특히, 도시 혹은 시외의 지역에서 송신부와 수신부 사이에는 여러 구조물과 많은 RF 신호들이 공존하는데, 이 때문에 송신된 신호는 수신부에 도달하기 전에 신호의 감쇄와 왜곡, 위상의 변화 그리고 시간의 지연 등이 유발된다. 이러한 환경에서 무선 연결의 품질과 신뢰성 향상을 위해 다이버시티 안테나 기술이 도입되었으며, 현재 시장의 요구에 부응하면서 꾸준한 연구가 진행되고 있다^{[2]~[4]}. 기본적으로 다이버시티 안테나는 패턴, 편파, 주파수, 공간 다이버시티의 네 가지 방식으로 구현할 수 있으며, 구분된 기법들은 각각의 통신 환경에 맞게 사용되고 있다^{[5],[6]}. 위에서 언급한 무선 통신 환경과는 다르게 환경에 방해 받지 않는 직선거리(line of sight)의 통신환경에서는 지향성 안테나가 요구된다. 지향성 안테나로써 Yagi-Uda 안테나, log-periodic 안테나, corner reflector 안테나 등이 있으며, 그 중에서 Yagi-Uda 안테나 기술이 현재까지도 가장 많이 알려져 있으며, 많은 연구가 이루어지고 있다^{[7]~[9]}.

본 논문에서는 네 개의 안테나 요소들을 쌓고 펼침으로써 모드 변환이 가능한 평면형 안테나 구조를 소개하고 있다. 먼저, 네 개의 안테나 요소들이 안테나 어레이 형태로 펼쳐져 배치되었을 경우에는 다이버시티 모드로 동작한다. 이 경우, 안테나 요소들의 급전 방향을 서로 직교하도록 배치함으로써 상호간의 간섭을 최소화 하였다. 이와는 다르게 네 개의 안테나 요소들이 한 방향으로 쌓인 적층 구조로 변환이 되었을 경우에는 지향성 모드로 동작한다. 이때 네 개의 요소들은 적층형 Yagi-Uda 안테나 구조를 이루며 높은 이득을 갖는다. 특히 지향성을 높이기 위해 안테나 요소들의 급전 방식과 급전 선로를 새롭게 고려하였다. 또한, 전기적인 스위치 방법이 아닌 구조의 수동적 변경을 통해 모드를 스위치 할 수 있는 안테나를 제안한다.

II. 제안하는 안테나 설계

2-1 다이버시티 모드

그림 1은 제안하는 두 가지 모드의 안테나 구조

를 보여준다. 네 개의 안테나 요소들로 이루어진 어레이 형태의 안테나는 각 Layer의 배열만을 다르게 하여 다이버시티 모드와 지향성 모드로 스위칭이 가능한 것을 보여주고 있다. 또한, 두 가지 형태의 구조로 단일 안테나가 이루어진 것을 확인할 수 있는데, Layer 1의 마이크로스트립 안테나와 Layer 2~4의 Coplanar-waveguide(CPW)의 모노폴 안테나가 이에 해당한다.

그림 1(a)는 다이버시티 모드의 안테나의 구조를 나타내고 있다. 안테나를 구성하는 네 개의 안테나 요소들이 펼쳐져서 한 평면에 위치하며, 동시에 서로 수직을 이루으로써 안테나 간의 간섭을 최소화 하고 있다. 이것은 각 Layer의 급전 방향이 인접한 Layer의 급전 방향과 서로 수직이 되도록 위치하므로 인접한 안테나 간의 편파가 서로 수직이 되도록 한 것인데, 이로써 단순한 구조를 유지하는 동시에 안테나 내부에 추가적인 공간이나 성분의 도움 없이 상호 간섭을 최소화 할 수 있음을 나타낸다.

그림 2는 그림 1(a)의 다이버시티 안테나 구조의

(a) 다이버시티 모드
(a) Diversity mode

(b) 지향성 모드
(b) Directivity mode

그림 1. 제안하는 안테나의 두 가지 모드 구조
Fig. 1. Two modes of the proposed antenna.

그림 2. 다이버시티 모드의 S-parameter 시뮬레이션 그래프

Fig. 2. Simulated reflection coefficients and isolation of the diversity mode.

S-parameter를 보여준다. 이때 네 개의 안테나에는 고주파 신호를 동시에 인가하였다. 그림을 통해 2.4 GHz에서 빨간색 실선은 Layer 1의 안테나가 12 dB 이상의 반사 손실을 갖는 것을 보여주고 있으며, 파란색, 녹색, 연두색의 점선은 Layer 2~4의 안테나가 10 dB 이상의 반사 손실을 갖는 것을 나타내고 있다.

이로써 우리는 네 개의 안테나 요소들이 2.4 GHz 주파수 대역에서 정상적으로 동작하는 것을 알 수 있다. 설명되지 않은 나머지 선들은 Layer 1과 나머지 Layers와의 격리도를 보여주고 있다. S_{21} , S_{31} 그리고 S_{41} 의 값들이 약 36 dB 이상인 것을 확인할 수 있으며, 이로부터 네 개의 안테나 간에 간섭은 작은 것을 예상할 수가 있다. 또한, 이것은 하나의 안테나와 다른 안테나의 상관 정도를 가시적으로 판단할 수 있는 아래의 식 Envelope correlation coefficient (ECC)을 통해서도 확인이 가능한데, 0에 가까운 계산된 값들로부터 다이버시티 안테나의 동작을 확인할 수 있다. ρ_{12} 는 Layer 1과 Layer 2에 위치한 안테나의 상관 정도를 의미하며, ρ_{12} , ρ_{13} , ρ_{14} 의 계산된 값은 각각 2.486×10^{-6} , 5.248×10^{-6} , 2.736×10^{-5} 이다.

$$\rho_{eij} \approx \frac{|S_{ii}^* S_{ij} + S_{ji}^* S_{jj}|^2}{(1 - (|S_{ii}|^2 + |S_{ji}|^2))(1 - (|S_{jj}|^2 + |S_{ij}|^2))} \quad (1)$$

2-2 지향성 모드

지향성 모드의 안테나 구조는 그림 1(b)에서 보여

주고 있다. 안테나 요소들은 Yagi-Uda 안테나 구조를 따르고 있으며, 가장 아래에 위치하는 Layer 1의 접지면은 Reflector로, Layer 1의 패치는 Driver를 만족시키고 있다. 그리고 Layer 2, Layer 3 그리고 Layer 4에 위치하는 패치는 각각 세 개의 Director의 역할을 담당하고 있다. 지향성 모드의 안테나는 먼저 2.4 GHz에서 동작하는 Layer 1의 마이크로스트립 안테나를 설계한 후에 디렉터 성분인 Layer 2~4의 패치를 적층형으로 위치시키므로 수직 방향으로 높은 이득을 갖도록 설계하였다. 이때, Layer 2~4의 패치는 서로 같은 크기를 갖도록 설계하였으며, 가장 중요한 설계 파라미터인 층간의 간격을 Yagi-Uda 안테나 이론에 해당하는 아래의 식으로부터 알 수가 있다.

$$d \approx \frac{\lambda_0}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

이 식으로부터 15.52 mm의 거리를 계산할 수 있었으며, 시뮬레이션을 통해 18 mm의 최적화된 값을 얻을 수 있었다. 추가적으로 안테나의 신호인가와 관련하여 지향성 모드에서는 다이버시티 모드와는 다르게 Layer 1의 안테나에만 신호를 인가하였으며, 나머지 Layer에는 Open 또는 termination해 주었다.

2-3 제안된 안테나의 구현

본 논문에서 두 모드를 스위치하기 위하여 네오디뮴(neodymium) 자석을 사용하였다. 이것은 작은 크기이지만 강한 자기력을 가지기 때문에, 네 개의 Layer로 이루어진 안테나의 두 가지 모드를 스위칭하거나 그 형상을 유지하기 위해 사용되었다. 자석의 사용이 안테나의 성능에 영향을 미치지 않는 것은 실험을 통해 확인하였으며, 네 개의 기판 위, 아래 그리고 옆면에 고정시키므로 서로 간에 탈·부착을 가능하도록 하였고, 두 모드의 스위치를 쉬운 방법으로 가능하게 하였다.

제안된 안테나의 성능을 위해서 앞에서 언급된 과정들 외에 추가적인 방법이 진행되었다. 지향성 모드의 경우 Driver에서 시작된 전자기 에너지는 Reflector와 Director를 통해 한 방향으로 전달하게 되는데, 이 세 가지 요소를 제외한 도체가 존재한다면, 에너지 손실을 가져오게 되므로 불필요한 요소의 성분을 최소화하는 과정을 진행하였다. 따라서 La-

yer 2~4의 접지면 면적을 최소화하기 위한 모노폴 안테나 구조와 CPW 급전 구조로 설계하였으며, Layer 2~4의 포트에서 패치 간에 높은 임피던스의 선폭을 갖도록 해주었다. 또한, 모든 Layer에 간극 정합 방식을 선택하였다.

또한 지향성 모드의 이득을 높이기 위해서 고안된 방법은 구부러진 급전선을 사용한 것이다. 그림 1(b)에서 보이는 Layer 3의 급전 선로를 직선에서 구부러진 라인으로 변형시키므로 원형 패치에서 급전 선로를 통해 전달하는 에너지 손실을 최소화하였다. 이로부터 Layer 2~4는 Director의 역할을 하는 원형 패치와, 다이버시티 모드에서 사용되는 급전선을 동시에 가지면서 높은 지향성 모드의 성능을 보일 수 있었다. Layer 3에서 구부러진 급전선을 사용했을 경우와 그렇지 않은 경우의 지향성을 비교했을 경우, 후방 방사는 줄어드는 반면, 전방 방사는 증가한 것을 확인할 수 있으며, 최대 이득이 8.47 dBi 에서 9.4 dBi로 1.2 dB 증가함을 확인할 수 있다.

앞서 설명된 다이버시티 모드와 지향성 모드로 동작하는 안테나는 그림 3에서 플로우 차트를 통해

그림 3. 제안된 안테나의 설계 과정을 구현하는 플로우 차트

Fig. 3. Flow chart for the antenna design process.

설계 과정을 단계별로 정리하였으며, 추가적인 급전 구현과정 또한 확인할 수가 있다.

III. 측정 결과

그림 4는 본 논문에서 제안하는 안테나의 실제 제작된 원형 모델이며, 다이버시티 모드를 보여주고 있다. 네 개의 안테나 요소들의 급전 방향이 직교하도록 배열하였으며, 자석을 각 Layer의 옆면에 부착하여 안테나를 고정시킨 것을 확인할 수가 있다.

그림 5는 주파수에 따른 S -parameter의 측정된 결과와 EM 시뮬레이션 결과를 도시하고 있다. 그림을 통해 네 개의 안테나가 2.4 GHz에서 제대로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 또한, Layer 1과 나머지 Layer들과의 격리도 또한 38 dB 이상의 값을 보여주고 있는데, 이는 시뮬레이션 결과와 측정된 결과가 대체적으로 일치하는 것을 보여준다.

그림 6은 제안된 안테나의 지향성 모드로 배열된 구조이다. 그림 4의 다이버시티 모드의 구조로부터 자석으로 연결된 Layer들을 분리한 이후 쌓은 구조이며, 아랫면에서 시작하여 Layer를 번호대로 위치시키므로 지향성 모드의 구조를 형성하였다.

그림 7에서는 주파수에 따른 이득 변화를 다이버시티 모드와 지향성 모드에서 도시하였다. 다이버시티 모드에서의 마이크로스트립과 모노폴 형태의 두 가지 단일 안테나 그리고 지향성 모드에서의 이득을 각각 확인할 수 있으며, 그 값은 2.4 GHz 에서 각각

그림 4. 제작된 다이버시티 모드의 프로토타입

Fig. 4. Prototype of proposed antenna for diversity mode.

그림 5. 다이버시티 모드의 S-parameter 시뮬레이션 및 측정값

Fig. 5. Simulated and measurement S-parameter in the diversity mode.

그림 6. 제작된 지향성 모드의 프로토타입

Fig. 6. Prototype of proposed antenna for directivity mode.

그림 7. 다이버시티 모드와 지향성 모드에서의 최고 이득 시뮬레이션 및 측정값

Fig. 7. Simulated and measurement peak gains at the diversity and directivity modes.

2.7 dBi, 0.91 dBi, 7.2 dBi이다. 또한, 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 일치하는 것을 알 수가 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2.4 GHz 대역에서 두 가지 모드를 가지며, 수동적으로 전환 가능한 평면형 안테나 구조를 제안하였다. 급전 방향을 서로 직교 배치함으로써 다이버시티 모드는 상호 간에 38 dB 이상의 격리도를 나타냈으며, 이를 적층형 Yagi-Uda 안테나 형태의 지향성 모드로 변환하였을 경우, 최대 이득이 2.7 dBi에서 7.2 dBi로 4.5 dB의 이득 향상을 확인할 수 있었다. 또한, 안테나로써 성능을 극대화하기 위해, 두 가지의 안테나 형태와 급전방식을 혼합하여 사용하였으며, 구부러진 급전 방식과 간극 임피던스 정합 방식을 사용하여 1.2 dB의 추가적인 이득 향상을 얻었다. 마지막으로 본 안테나 구조는 다양한 통신 환경에 따라 구조를 손쉽게 변화시킴으로써 채널 이득을 최대화 할 수 있는 장점을 갖고 있다.

참 고 문 헌

- [1] F. Boccardi, B. Clerckx, A. Ghosh, E. Hardouin, G. Jongren, K. Kusume, E. Onggosanusi, and Y. Tang, "Multiple-antenna techniques in LTE-Advanced", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp. 114-121, Mar. 2012.
- [2] M. Z. Win, G. Chrisikos, and A. F. Molisch, "Wide-band diversity in multipath channels with nonuniform power dispersion profiles", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 5, pp. 1014-1022, 2006.
- [3] Alexiou M. Haardt, "Smart antenna technologies for future wireless systems: Trends and challenges", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 9, pp. 90-97, Sep. 2004.
- [4] R. Addaci, A. Diallo, C. Luxey, P. L. Thuc, and R. Staraj, "Dual-band WLAN diversity antenna system with high port-to-port isolation", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 244-247, 2012.
- [5] B. Dietrich, K. Dietze, J. R. Nealy, and W. L. Stutzman, "Spatial, polarization, and pattern diversity for wireless handheld terminals", *IEEE Trans. Antennas*

- Propag.*, vol. 49, no. 9, pp. 1271-1281, Sep. 2001.
- [6] Shuai Zhang, Buon Kiong Lau, A. Sunennon, and Sailing He, "Closely-packed UWB MIMO/Diversity antenna with different patterns and polarizations for USB dongle applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 9, pp. 4372-4380, Sep. 2012.
- [7] G. R. DeJean, T. T. Thai, S. Nikolaou, and M. M. Tentzeris, "Design and analysis of microstrip Bi-Yagi and Quad-Yagi antenna arrays for WLAN applications", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 244-248, Jun. 2007.
- [8] Lramer, T. Djerafi, and K. Wu, "Vertically multi-layer stacked Yagi antenna with single and dual polarization", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 4, pp. 1022-1030, Apr. 2010.
- [9] Q. Xin, F. -S. Zhang, B. -H. Sun, Y. -L. Zou, and Q. -Z. Liu, "Yagi-Uda antenna with small size for vehicles", *Electron. Lett.*, 47(7), pp. 428-430, 2011.

최 현 형

2012년 2월: 중앙대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2012년 3월~현재: 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정
 [주 관심분야] 평면형 안테나, UWB antenna, 안테나 어레이

임 성 준

2002년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 2월: University of California Los Angeles 전기공학과 (공학석사)
 2006년 2월: University of California Los Angeles 전기공학과 (공학박사)
 2006년~2007년: University of California, Irvine Post-Doc.
 2007년 3월~현재: 중앙대학교 전자전기공학부 부교수
 [주 관심분야] 마이크로파 회로 및 안테나