RF MEMS 소자를 이용한 MIMO 안테나 설계

Design of a MIMO Antenna Using a RF MEMS Element

이 원 우 · 이 병 호

Won-Woo Lee · Byung-Ho Rhee

요 약

본 논문에서는 다중 입출력(Multiple-Input Multiple-Output: MIMO) 무선 기기에 대한 안테나의 설계를 제안하였다. 제안된 안테나는 다양한 LTE(Long Term Evolution) 서비스 대역을 다룬다; 밴드(band) 17(704~746 MHz), 밴드 13(746~787 MHz), 밴드 5(824~894 MHz), and 밴드 8(880~960 MHz). 제안된 주(main) 안테나는 광대역 동작을 위해 역 L-형태의 슬릿(slot)을 가지고 있다. 그리고 LTE 부(sub) 안테나는 스위치(switch)를 결합한 루프(loop) 안테나 구조에 기초를 두었고, 논리 회로에 의해서 공진 주파수가 조절될 수 있다. LTE 수신 안테나에 대한 조절 기술은 원하는 대역의 실현을 위해, 그리고 임피던스(impedance) 조절을 위해 RF MEMS(Micro-Electro Mechanical System)를 사용하였다. 두 개의 제안된 안테나는 서로 수직으로 편파되기 때문에 원하는 주파수 대역에서 두 안테나는 -20 dB 이하의 격리도 특성을 가지며, 두 안테나 사이의 상관 계수(Envelope Correlation Coefficient: ECC) 특성은 0.06 이하의 매우 낮은 값을 가진다. 제안된 안테나는 통합된 LTE 다중 입출력 시스템의 단말기에 적용이 가능하다.

Abstract

In this letter, a new approach is proposed for the design of a multi antenna for MIMO wireless devices. The proposed antenna covers various LTE(Long Term Evolution) service bands: band 17(704~746 MHz), band 13(746~787 MHz), band 5(824~894 MHz), and band 8(880~960 MHz). The proposed main antenna consists of a conventional monopole antenna with an inverted L-shaped slit for wideband operation. The proposed the LTE sub antenna is based on a switch loaded loop antenna structure, with a resonance frequency that can be controlled by capacitance of a logic circuit. The tuning technique for the LTE Rx antenna uses a RF MEMS(Micro-Electro mechanical system) to match the impedances to realize the bands of interest. Because the two proposed antennas are polarized orthogonally to each other, the ECC(Envelope Correlation Coefficient) characteristic between two antennas was measured to be very low (below 0.06) with an isolation characteristic below -20 dB between the two antennas in the operating overall LTE bands. The proposed antenna is particularly attractive for mobile devices that integrate LTE multiple systems.

Key words : Antenna, ECC, LTE, MIMO, RF MEMS

I. 서 론

LTE 단말기의 빠른 성장은 다양한 주파수 대역에

서의 동작과 다중 기능의 성능에 대한 요구를 초래하였다. 단말기에 적용 가능한 안테나들은 다중 대역 동작 그리고 안테나 사이의 격리도 뿐만 아니라,

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronic & Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received October 23, 2013 ; Revised November 25, 2013 ; Accepted November 26, 2013. (ID No. 20131023-100)

· Corresponding Author : Byung-Ho Rhee (e-mail : bhrhee@hanyang.ac.kr)

넓은 대역폭, 높은 안테나 이득과 같은 중요한 특성을 요구하고 있다^[1]. 하지만 작은 MIMO 단말기의 낮은 주파수 대역의 구현에 있어서 공통 접지면의 사용으로 인해 두 안테나간 상호 간섭이 생기며, 이런 현상은 안테나 성능에 치명적인 문제를 일으킨다^{[2],[3]}.

단말기에 대한 MIMO 시스템에서 안테나 배열에 관하여 심각한 설계 문제는 단말기의 제한된 유효 공간에 있다. 즉, 서로 근접해 있는 안테나는 상호 간섭을 높이고, 서로 영향을 받는다. 상호 간섭은 또한 두 안테나 간의 상관 계수를 증가시킨다. 최근 일부 연구 논문들은 안테나 간섭을 줄이는 연구가 활발히 진행되고 있다^{[4]~[7]}. 낮은 주파수 대역에서 접지(ground) 면에 전류를 제한하기 위해 메타물질(metamaterials)을 사용하여 높은 간섭을 줄였고^[4], 두 안테나 사이에서 정합회로를 구현하여 이런 문제를 해결하기 위한 기술^[5], 접지면의 공진을 이용^[6], 그리고 갈라진 고리 공진을 이용한 기술이^[7] 연구되었다. 위에서 언급한 기술들은 모두 반사계수를 저하시키며, 높은 격리를 가지면서 동시에 넓은 임피던스 대역폭을 이루기 어렵다. 또한, 이러한 기술들은 부가적인 공간이 필요하다.

이 논문에서는 주 안테나의 경우 넓은 대역 동작을 달성하기 위해서 주 안테나는 역 L-형태의 슬릿을 가지는 모노폴(monopole) 안테나가 제안되었다. LTE 수신부의 부 안테나는 다중의 공진을 가지며, 동작 대역은 LTE 수신 루프 안테나의 끝에 연결된 RF MEMS의 캐패시턴스(Capacitance)에 의해서 조절된다. 주 그리고 부 안테나에 설계된 모노폴과 루프 안테나의 서로 다른 형태는 높은 격리도를 이룬다.

II. 안테나 구조

2-1 주 안테나 설계

제안된 안테나 설계에서 주(송신+수신) 안테나와 부(수신) 안테나는 그림 1에서 보는 바와 같이 각각 접지면의 하단과 상단 왼쪽에 위치하였다. 접지 평면의 크기는 60 mm×120 mm이고, 두께 0.8 mm, 상대 유전율 4.4를 가지는 FR4 기판을 사용하였다.

주 안테나의 전체 크기는 10 mm×60 mm×6 mm이며, 이것은 특정 단말기에 있어 적합한 크기이다. 제

그림 1. 제안된 MIMO 안테나의 구조

Fig. 1. The structures of the proposed MIMO antenna.

그림 2. 제안된 주 안테나의 구조 및 크기

Fig. 2. Detailed structure and dimension of the proposed main antenna.

안된 주 안테나는 그림 2와 같이 사각형의 방사 요소와 넓은 대역 성능을 이루기 위해 역 L-형태의 슬릿으로 구성하였다.

제안된 주 안테나의 변수들을 CSTs Microwave Studio^[8] 시뮬레이션을 통해 최적화 하였다. 그림 3은 역 L-형태의 슬릿의 유무에 따른 시뮬레이션 결과 및 측정값을 보여준다. 역 L-형태의 슬릿을 적용함으로써 공진 주파수의 저주파로의 이동 및 동일 안테나 크기에서 광대역 특성을 구현할 수 있다. 또한, 제안된 주 안테나의 측정된 반사 손실(S_{11}) 특성은 시뮬레이션 값과 유사하다.

이 그림으로부터 역 L-형태의 슬릿을 가지고 있는 제안된 안테나의 공진 주파수는 역 L-형태의 슬릿을 가지고 있지 않는 안테나보다 낮은 주파수 대역으로 이동하고, 임피던스 대역폭이 27.8 %에서

그림 3. 제안된 주 안테나에 대한 시뮬레이션 및 측정 반사 손실 특성

Fig. 3. Simulated and measured return loss characteristics for the proposed main antenna.

34.4 %로 개선됨을 알 수 있다. 또한, 6 dB 반사 손실 요구 기준으로 688~974 MHz의 다양한 LTE 주파수 (LTE 밴드 17, 13, 5, 그리고 8)에서 동작할 수 있는 광대역 특성을 얻었다.

2-2 부 안테나 설계

그림 4는 LTE 수신부의 부 안테나인 접은 미엔더 (folded meander) 루프 안테나의 구성을 보여준다. 루프 안테나는 두 안테나 사이에서 안테나 위치에 따라 높은 격리도 특성을 가질 수 있다^[9]. LTE 수신 안테나는 낮은 LTE 대역 동작에 대해서 단순한 구성을 가진다. 원하는 LTE 서비스 대역으로의 특성 변화를 위해서 MEMS 캐패시터는 미엔더 루프 안테나의 끝에 연결하였다.

제안된 RF MEMS 캐패시터는 Cavendish Kinetics

그림 4. 제안된 부 안테나의 구조 및 크기

Fig. 4. Detailed structure and dimension of the proposed sub antenna.

그림 5. 구성된 단계 크기에 대한 제안된 MEMS 캐패시터의 특성

Fig. 5. Performance of proposed MEMS capacitor for consistent step size.

사의 32CK301^[10]를 사용하였다. MEMS 캐패시터는 다른 재료의 캐패시터에 비해서 저항 성분이 낮아 안테나 적용 시 손실이 적다. 그림 5에서 보는 것처럼 논리 상태 (Logic State) 0 bit에서 31 bit까지 조절되어 캐패시턴스는 약 0.03 pF 단계로 0.37 pF에서 1 pF까지 변함을 볼 수 있다. 이런 캐패시턴스의 특성 변화는 본 논문에서 설계된 LTE 부 안테나의 매칭 값의 범위에 들며, 이 값을 통해 LTE 4개 밴드를 선택할 수 있다.

그림 6은 다양한 캐패시턴스를 가지는 제안된 LTE 수신부의 부 안테나의 반사 손실 측정값을 보여준다. 캐패시턴스 값에 따라서 4개의 수신 대역이 선택된다. 4개의 LTE 밴드를 선택하기 위한 다른 부수적인 매칭단 (Matching network)은 필요하지 않는다. 이것은 넓은 주파수 대역을 조절하는 캐패시턴스 값이 변하는 동안 우수한 임피던스 매칭이 된다는 점에서 중요성을 둘 수 있다. 제안된 LTE 수신 안테나는 캐패시턴스 값을 통해서 연속적으로 원하는 서비스 밴드를 선택할 수 있다. 밴드 17과 13의 경우, 1 pF, 0.96 pF의 각각 하나의 값으로 밴드 대역폭을 포함시킬 수 있으나, 밴드 5와 8의 경우 0.5~0.53 pF, 0.34~0.37 pF의 범위로 각각 대역폭을 포함시킬 수 있다. 이렇게 한 가지 캐패시턴스로 특정 밴드의 대역폭을 포함하지 못할 경우에는 단말기 모뎀에서 특정 밴드에 속하는 주파수 채널을 조절함으로써 해결할 수 있다. LTE 수신 대역이 LTE 수신 안테나의 캐패시턴스 값의 의해서 조절되며, 주 안테나의 공진은 크게 영향을 받지 않는다.

그림 6. 제안된 부 안테나에 대한 측정된 반사 손실 특성

Fig. 6. Measured return loss characteristics for the proposed sub antenna.

III. MIMO 성능

그림 7은 4개의 LTE 서비스 밴드에서 두 안테나 사이의 산란 파라미터(S -parameter) 특성을 측정했다. 그림에서 보는 것처럼 -20 dB 이상의 격리도 특성을 가진다. 이러한 서로 간섭의 수준은 낮은 주파수 대역에서 최근 발표되는 논문들보다 더 우수함을 알 수 있다^{[11][12]}.

그림 8은 LTE 낮은 주파수의 수신 대역에서 밴드 17과 밴드 8에 대한 안테나의 접지면에 대한 표면 전류 분포에 대한 시뮬레이션 결과를 각각 보여준다. 전류 분포는 보고자 하는 안테나에 급전시켰고,

그림 7. LTE 밴드에 대한 측정된 S_{21} 그리고 S_{12} 특성
Fig. 7. Measured S_{21} and S_{12} characteristics for LTE band.

그림 8. (a) 밴드 17에 대한 부 안테나의 표면 전류 분포, (b) 밴드 17에 대한 주 안테나의 표면 전류 분포, (c) 밴드 8에 대한 부 안테나의 표면 전류 분포, (d) 밴드 8에 대한 주 안테나의 표면 전류 분포

Fig. 8. (a) Surface current distribution of sub antenna for band 17, (b) Surface current distribution of main antenna for band 17, (c) Surface current distribution of sub antenna for band 8, (d) Surface current distribution of main antenna for band 8.

다른 하나는 50Ω 으로 연결하였다. 제안된 안테나 설계에서 LTE 수신단의 부 안테나에 대한 표면 전류 분포는 거의 수평으로 형성되는 반면에, 주 안테나의 경우 수직으로 형성됨을 알 수 있다. 결국, 두 안테나의 전류 분포는 서로 수직적인 특성을 가지고 있으며, 이를 통해 격리도 특성이 개선될 수 있는 구조임을 확인할 수 있다.

그림 9에서 보는 바와 같이 주 안테나에서 측정된 평균 이득은 -0.22 dBi에서 -1.67 dBi이며, 이득 변화량은 1.45 dB이다. LTE 수신기의 부 안테나의 평균 이득은 -1.57 dBi에서 -4.61 dBi이며, 이득 변화량은 3.04 dB를 가진다. 모든 동작 대역에 대해서 실질

그림 9. 측정된 평균 이득

Fig. 9. Measured average gain.

적인 단말기와 비교해 볼 때 안테나 효율은 적절한 편이다.

그림 10과 11은 자유 공간에서 주 안테나와 부 안테나의 측정된 방사 패턴들을 보여준다. 아래 그림의 이득 및 방사 패턴은 두 개의 안테나 중 하나는 50옴으로 터미네이션 시킨 상태에서 측정하였다.

그림 10. 다양한 LTE 대역에서 주 안테나의 측정된 방사 패턴들

Fig. 10. Measured radiation patterns for the main antenna in various LTE bands.

그림 11. 다양한 LTE 대역에서 부 안테나의 측정된 방사 패턴들

Fig. 11. Measured radiation patterns for the sub antenna in various LTE bands.

MIMO 안테나 설계가 일반적으로 각 안테나에 대해서 다른 방향성을 가진다고 할지라도 제한한 안테나의 방사 패턴은 서로 비슷하다. H(yz) 평면은 동작 대역에서 거의 전방향(omnidirectional)의 패턴임을 볼 수 있다.

MIMO 안테나로서 제안된 안테나 구조의 시스템 성능을 검증하기 위해서 상관 계수를 계산하였다. MIMO 안테나를 적용한 상업 목적의 단말기에서 안테나의 상관 관계는 본질적으로 높다. 왜냐하면 서로 근접해 있는 두 안테나는 강하게 간섭되기 때문이다. 이 문제는 같은 점지를 공유하는 MIMO 안테나에 대해서 전기적으로 긴 파장을 사용하는 낮은 주파수의 LTE 대역에서 특히 악화된다. 일반적인 MIMO 성능에 대해서 받아들일 수 있는 상관 계수는 0.5 이하로 보고되고 있다^[13]. 균일한 다중 경로 환경의 가정 하에서 살펴볼 때, 안테나 방사 패턴의 측정으로부터 두 안테나 시스템의 상관 계수 계산은 유도된다. 이 상관 관계는 식 (1)로 부터 구할 수 있다^[14].

표 1. 측정된 상관 계수 특성

Table 1. Measured ECC characteristics.

서비스 밴드	주파수 [MHz]	방사 패턴으로부터의 상관 계수
LTE band 17	740	0.05
LTE band 13	751	0.03
LTE band 5	881	0.06
LTE band 8	942	0.03

그림 12. 제작된 안테나

Fig. 12. The fabricated antenna.

$$\rho_{12} = \frac{|\oint \{XPR \cdot E_{\theta MA}(\Omega) \cdot E_{\theta SA}^*(\Omega) + E_{\phi MA}(\Omega) \cdot E_{\phi SA}^*(\Omega)\} d\Omega|^2}{\oint \{XPR \cdot G_{\theta MA}(\Omega) + G_{\phi MA}(\Omega)\} d\Omega \cdot \oint \{XPR \cdot G_{\theta SA}(\Omega) + G_{\phi SA}(\Omega)\} d\Omega} \quad (1)$$

$E_{\theta MA}(\Omega)$ 는 주 안테나의 수직 편파 복소수의 방사 패턴이고, $E_{\theta SA}(\Omega)$ 는 부 안테나의 수직 편파 복소수의 방사 패턴이다. $E_{\phi MA}(\Omega)$ 는 주 안테나의 수평 편파 복소수의 방사 패턴이고, $E_{\phi SA}(\Omega)$ 는 부 안테나의 수평 편파 복소수의 방사 패턴이다. Ω 는 구 좌표계 시스템에 대한 입체각이다. 여기서 측정 환경이 등방성(isotropic)이기 때문에 $XPR=1$ 이다. XPR 은 교차 편파비를 나타낸다^[15]. 즉, 수직 편파와 수평 편파의 비를 동일하게 함으로써, 균일한 Rayleigh 환경에서 안테나의 특성을 보기 위함이다. 표 1은 방사 패턴으로부터 측정된 상관 계수를 정리하였다. 그 상관 계수 특성은 LTE 대역 17, 13, 5, 그리고 8에서 0.06 이하로 측정되었다. 상관 계수가 낮다는 결과는 그림 7에서 설명된 산란 파라미터의 결과로부터도 유추

할 수 있다. 이것은 제안된 안테나는 상관 계수 저하됨을 알 수 있으며, 최근 연구된 논문들 보다 낮은 특성을 가진다^{[12][16]}.

그림 12는 제작된 안테나를 보여준다. 제안된 안테나와 MEMS 캐패시터는 PCB의 앞면에, 그리고 5 V 직류 배터리와 전원 회로는 PCB의 뒷면에 제작되었다. 여기서 전원 회로는 MEMS 캐패시터에 2.6 V를 공급하기 위해 LDO(Low Drop Out) 조정기를 사용하였다.

IV. 결 론

제안된 MIMO 주 안테나는 넓은 대역폭을 가지고 있으며, 4개의 LTE 대역에서 동작한다. 이것은 광대역 특성을 구현하기 위해 역 L-형태의 슬릿을 구현하였다. LTE 수신부의 부 안테나에 대해서 다중 대역 특성은 RF MEMS에 의해서 이루어진다. 그 동작 대역은 MEMS의 캐패시턴스를 조절함으로써 선택될 수 있다. 주 안테나와 부 안테나(모노폴과 루프 안테나)는 다른 안테나 형태를 선택함으로써 매우 우수한 격리도 특성뿐만 아니라, 상관 계수 특성을 얻을 수 있었다. 제안된 설계는 LTE 낮은 주파수 대역의 MIMO 동작에서 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

References

- [1] Z. Ying, D. Zhang, "Study of the mutual coupling, correlations and efficiency of two PIFA antennas on a small ground plane", in *Proc. IEEE Antennas Propagat. Soc. Int. Symp.*, pp. 305-308, Jul. 2005.
- [2] S. Blanch, J. Romeu, and I. Corbella, "Exact representation of antenna system diversity performance from input parameter description", *IET Electron. Lett.*, vol. 39, no. 9, pp. 705-707, May 2003.
- [3] F. G. Zhu, J. D. Xu, and Q. Xu, "Reduction of mutual coupling between closely-packed antenna elements using defected ground structure", *IET Electron. Lett.*, vol. 45, no. 12, pp. 601-602, Jul. 2009.
- [4] N. Lopez, C. Lee, A. Gummalla, and M. Achour, "Compact metamaterial antenna array for Long Term Evolution(LTE) handset application", *Antenna Te-*

- chnology, *iWAT 2009, IEEE International Workshop on*, pp. 1-4, Mar. 2009.
- [5] 한민석, 최재훈, "대역 저지 특성을 갖는 정합 회로를 이용한 USB dongle용 이중 대역 MIMO 안테나" 한국전자과학회논문지, 20(9), pp. 924-929, 2009년 9월.
- [6] Xing Zhao, Kyeol Kwon, and Jaehoon Choi, "MIMO antenna using resonance of ground plane for 4G mobile application", *J. Electromagn. Eng. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 51-53, Mar. 2013.
- [7] Youngki Lee, Haeil Chung, and Jaehoon Choi, "Improving the isolation of MIMO antennas using split ring resonators", *J. Electromagn. Eng. Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 303-308, Dec. 2010.
- [8] Computer Simulation Technology(CST) Microwave Studio Suite 2012 [Online] Available: <http://www.cst.com>
- [9] 염인수, 정창원, "소형 고 격리도 듀얼 밴드 MIMO 안테나" 한국전자과학회논문지, 21(8), pp. 865-871, 2010년 8월.
- [10] <http://www.cavendish-kinetics.com>
- [11] M. S. Sharawi, S. S. Iqbal, and T. S. Faouri, "An 800 MHz 2×1 compact MIMO antenna system for LTE handsets", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 8, pp. 3128-3131, Aug. 2011.
- [12] J. Chung, T. Yang, J. Lee, and J. Jeong, "Low correlation MIMO antenna for LTE 700 MHz band", in *Proc. IEEE Antennas Propagat. Soc. Int. Symp.*, pp. 2202-2204, Jul. 2011.
- [13] R. G. Vaughan, J. B. Andersen, "Antenna diversity in mobile communications", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 36, no. 4, pp. 149-172, Nov. 1987.
- [14] I. Szimi, G. F. Pedersen, S. C. Del Barrio, and M. D. Foegelle, "LTE radiated data throughput measurements, adopting MIMO 2×2 reference antennas", *IEEE Vehicular Technology Conference(VTC Fall)*, VTC, pp. 1-5, 2012.
- [15] 김성진, 김동호, 권결, 최재훈, "인체부착형 Headset MIMO 안테나 설계" 한국전자과학회논문지, 22(12), pp. 1107-1115, 2011년 12월.
- [16] R. Kuonanoja, "Low correlation handset antenna configuration for LTE MIMO applications", in *Proc. IEEE Antennas Propagat. Soc. Int. Symp.*, pp. 1-4, Jul. 2010.

이 원 우

원

2000년 2월: 광운대학교 전자물리학과 (이학사)
 2002년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 2007년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
 2002년~2003년: (주)텔슨전자 연구

원
 2004년~2006년: (주)SK텔레텍 주임연구원
 2007년~현재: (주)LG전자 책임연구원
 [주 관심분야] LTE 시스템, MIMO, 안테나 및 마이크로파 회로 설계

이 병 호

학부 교수

1975년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1977년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 3월: National Chiba University (공학박사)
 1981년~현재: 한양대학교 컴퓨터공

[주 관심분야] 네트워크, NGN, 무선망 보안, 무선 통신