

Design of the High Compatibility Fractal Array Bionic Antenna

Bin Lin*, Zetai Liu, Ying Zhang, Shaodong Shen, Xinyu Wei, Ping Zheng, Peitao Zhang

School of Information Science and Technology, Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou Fujian
Email: linbin@xujc.com

Received: Nov. 3rd, 2017; accepted: Nov. 15th, 2017; published: Nov. 22nd, 2017

Abstract

According to the requirements of the mobile communication system, radio frequency identification system, ultra wideband system and the mobile digital TV system to the antenna's performance, the present paper originally combined butterfly shaped bionic antenna and Hilbert fractal array, designed a high compatibility fractal array bionic antenna, fabricated the antenna sample and tested the radiation characteristics of the antenna. The result of test indicate that this antenna completely covered all working frequency bands of the second generation to the fifth generation mobile communication, the frequency bands of the radio frequency identification system, the frequency band of ultra wideband system, and the frequency band of the mobile digital TV system. The smart terminal using this antenna will have many functions, such as mobile communication, radio frequency card read and write, ultra wideband transmission, mobile digital TV and so on, and this antenna has great potential for application.

Keywords

Mobile Communication, Radio Frequency Identification, Ultra Wideband System, Mobile Digital TV, Butterfly Shaped Bionic Antenna, Hilbert Fractal Array

高兼容性分形阵列仿生天线设计

林 斌*, 刘泽泰, 张 颖, 沈少东, 魏昕煜, 郑 萍, 张培涛

厦门大学嘉庚学院, 信息科学与技术学院, 福建 漳州
Email: linbin@xujc.com

收稿日期: 2017年11月3日; 录用日期: 2017年11月15日; 发布日期: 2017年11月22日

*通讯作者。

文章引用: 林斌, 刘泽泰, 张颖, 沈少东, 魏昕煜, 郑萍, 张培涛. 高兼容性分形阵列仿生天线设计[J]. 无线通信, 2017, 7(5): 170-177. DOI: [10.12677/hjwc.2017.75021](https://doi.org/10.12677/hjwc.2017.75021)

摘要

本文针对移动通信系统、射频识别系统、超宽带系统、移动数字电视系统对天线的性能要求,创造性的将蝶形仿生天线与希尔伯特分形阵列相结合,设计了一款高兼容性分形阵列仿生天线,制作了天线样品并测试了天线的辐射特性。测试结果表明,该款天线完全覆盖了第二代至第五代移动通信所有工作频段、射频识别系统频段、超宽带系统频段和移动数字电视系统频段。使用该天线的智能终端将兼具手机通信、射频卡读写、超宽带传输和移动数字电视等多种功能,该天线有较大的应用潜力。

关键词

移动通信, 射频识别, 超宽带系统, 移动数字电视, 蝶形仿生天线, 希尔伯特分形阵列

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

多网合一是目前无线通信发展的最重要趋势之一。移动通信手机、射频识别读写器、超宽带手持终端、移动数字电视终端是四种常见的无线通信手持终端设备,它们的工作频率接近,尺寸相当,具有很大的整合潜力。如果一款天线能够同时覆盖第二代至第五代移动通信频段、射频识别频段、超宽带频段、移动数字电视频段,使用这款天线的智能手机就将兼具射频识别读写器、超宽带手持终端和移动数字电视终端的功能,可以读写校园卡、身份证、银行芯片卡、门禁卡、物流标签信息,可以实现近距离高速数据传输,可以收看高清移动数字电视,智能手机将升级成为多功能的“智能终端”[1][2]。

目前,第二代、第三代、第四代移动通信模式长期共存,第五代移动通信即将于2020年投入使用,一款移动通信手机天线需要覆盖的频段为第二代移动通信 GSM 制式 0.905~0.915 GHz、0.950~0.960 GHz、1.710~1.785 GHz、1.805~1.880 GHz 频段,第三代移动通信 TD-SCDMA 制式 1.880~1.920 GHz、2.010~2.025 GHz、2.300~2.400 GHz 频段,第三代移动通信 WCDMA 制式 1.920~1.980 GHz、2.110~2.170 GHz 频段,第四代移动通信 TD-LTE 制式 2.570~2.620 GHz 频段,第五代移动通信 3.300~3.400 GHz、4.400~4.500 GHz、4.800~4.990 GHz 三个候选频段[3][4][5]。目前,射频识别技术最具有应用前景的频段为 0.902~0.928 GHz、2.400~2.4835 GHz 和 5.725~5.875 GHz [6][7]。美国联邦通信委员会(FCC)确定的超宽带(UWB)的频段为 3.100~10.600 GHz,这一标准现在已成为超宽带系统天线的国际标准[8][9]。根据国际电信联盟的频段划分,基于卫星传输的移动数字电视频段为 11.700~12.200 GHz。兼容移动通信频段、射频识别频段、超宽带频段、移动数字电视频段的“智能终端”天线需要覆盖上述所有频段,尺寸较小且有足够性能冗余,能够在各种电磁环境下保证无线通信信号的传输质量。

2. 国内外研究现状

近年来,国内外学者在多频段移动通信天线方面取得了较多研究进展。Elsheakh 等人设计实现了 5 频段 3D 单极天线,但其工作带宽较小[10];杨利霞等人设计了能够兼容第二代和第三代移动通信的分形开槽双频天线,但天线尺寸较大,不能满足小型化的要求[11];爱尔兰贝尔实验室设计了第五代移动通信

多频段大型天线系统, 但该天线尺寸较大, 且不能兼容第二代、第三代、第四代移动通信系统[12]; Belhadef 等人设计了一款 6 频段分形天线, 但其回波损耗值很大, 带宽很小, 天线实用性不强[13]。厦门大学、清华大学等高校开展了分形多频天线、分形阵列天线领域的研究工作。此外, 多辐射单元结构、环形结构、缝隙结构、多枝节结构等也是国内外学者用于设计多频段移动通信天线的常用结构。国内外现有的多频段移动通信天线尚不能很好的兼具小尺寸、高辐射强度、大工作带宽这三个设计要求。目前性能最好的移动通信天线只能同时覆盖第二至第四代移动通信频段, 同时覆盖第二到第五代移动通信频段的的天线还未实现。

国内外传统的射频识别天线类型主要是各种偶极子天线及其改进形式, 具有非频变特性的螺旋天线在射频识别系统中也得到了越来越多的应用。此外周期性天线、折叠曲流天线、微带天线、环天线、缝隙天线、立体结构天线、倒 F 天线等在射频识别系统中的应用也都有相关的研究[14] [15] [16] [17]。国内外现有的射频识别天线存在着回波损耗和带宽的冗余较小, 天线各个工作频段的性能不平衡等问题, 在复杂电磁环境中的工作稳定性还不够。

上世纪 50 年代, V. H. Rumsey 等人提出了非频变天线的概念, 并使用对数周期结构、无限长双锥结构和平面等角螺旋结构等非频变结构实现了天线的宽带化设计, 这些天线工作频段宽, 性能稳定, 但大都是三维结构, 且尺寸较大, 无法与手持式终端设备集成。上世纪 70 年代, G Dubost 等人提出了平面单极子结构的超宽带天线, 后来圆盘单极子、椭圆盘单极子、梯形单极子、叶子形单极子等相继出现, 使得超宽带天线由三维结构向平面结构转化。近年来, 随着微带天线技术的发展, 基于微带结构的印刷单极子、印刷偶极子、缝隙等形式的超宽带天线不断的出现[18] [19] [20]。上世纪 90 年代, 分形电动力学提出后, 各式分形结构在超宽带天线设计中得到了普遍的应用。国内外现有的超宽带天线设计中存在的最大问题是天线未能真正实现“宽带”。目前的超宽带天线在工作频段内回波损耗值波动很大, 它们大多是用多个工作频段叠加的方式, 实现对 3.100~10.600 GHz 频段的覆盖, 它们实际上只能算是覆盖了 3.100~10.600 GHz 频段的多频天线。严格意义上的超宽带天线需要用一个很宽的工作频段覆盖 3.100~10.600 GHz 频段, 且工作频段内回波损耗值波动较小。

国内外现有的移动数字电视天线主要是各种鞭状天线及其改进形式[21] [22] [23], 其相对工作带宽较小, 功能单一, 兼容性还有待提高。能够同时覆盖第二代到第五代移动通信频段、射频识别系统频段、超宽带系统频段、移动数字电视频段的的天线未见报道。

3. 蝶形仿生天线简介

在自然界中, 蝴蝶的身体和翅膀能够吸收很宽频段的电磁波。将这一原理应用于射频天线设计领域, 模仿蝴蝶的外形设计天线的辐射贴片, 并合理馈电, 可以设计兼具收发电磁波功能的、性能优异的射频天线。蝶形仿生天线的结构如图 1 所示, 它由一个矩形“蝴蝶身体”和四个形状完全一致的平行四边形“蝴蝶翅膀”构成, 这种仿生辐射结构具有很强的性能冗余和抗破坏性, 在三个“蝴蝶翅膀”损坏的情况下仍然能够工作。

4. 希尔伯特分形阵列简介

多个天线按照一定排布规律组成阵列, 可以有效增强辐射。分形阵列是按照分形规律排布的天线组阵方法, 可以充分发挥分形结构宽频工作的特点, 在通过组阵增强辐射的同时, 保证天线具有较大工作带宽。希尔伯特分形结构是一种常见的线分形结构, 它的迭代过程如图 2 所示[24] [25]。希尔伯特分形结构在尺寸压缩上有较大优势, 按照希尔伯特分形规律排布阵元天线, 可以在有效增强辐射强度的同时, 保证天线尺寸不会过大。

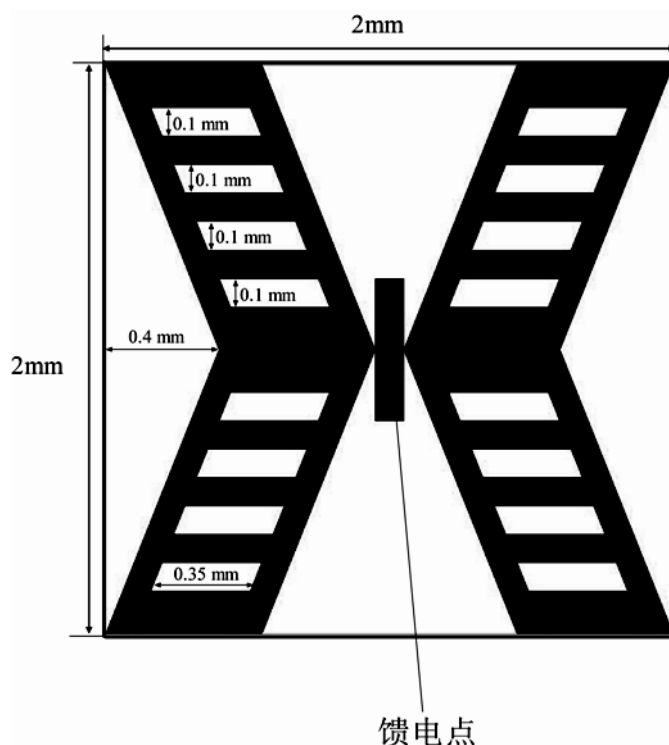


Figure 1. The structure sketch map of butterfly shaped bionic antenna

图 1. 蝶形仿生天线结构示意图

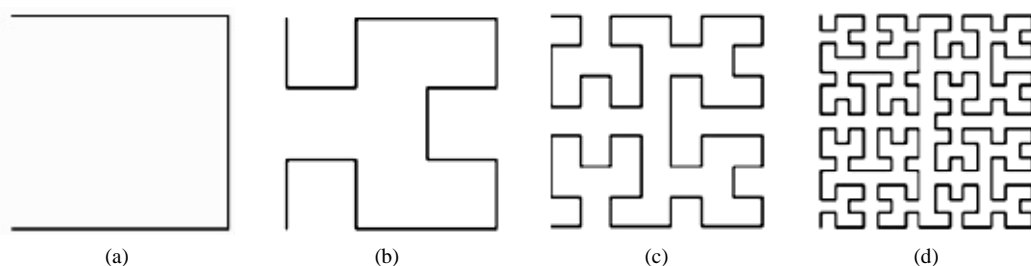


Figure 2. The sketch map of Hilbert fractal iteration process. (a) 0 order; (b) 1st order; (c) 2nd orders; (d) 3rd orders

图 2. 希尔伯特分形迭代过程示意图。(a) 0 阶; (b) 1 阶; (c) 2 阶; (d) 3 阶

5. 高兼容性分形阵列仿生天线结构设计

高兼容性分形阵列仿生天线使用图 1 所示的蝶形仿生小天线作为阵元天线。蝶形仿生小天线的辐射主要由四个“蝴蝶翅膀”上的平行四边形缝隙完成，总共 16 个缝隙的辐射相叠加，可以得到一个很宽的工作频带，可以完全覆盖第二代到第五代移动通信频段、射频识别系统频段、超宽带系统频段、移动数字电视频段。

蝶形仿生小天线的大小为 $2.0\text{ mm} \times 2.0\text{ mm}$ ，它由一个矩形“蝴蝶身体”和四个形状完全一致的平行四边形“蝴蝶翅膀”构成，每个“蝴蝶翅膀”的宽度为 0.55 mm 。蝶形仿生小天线的“蝴蝶身体”位于天线几何中心，尺寸为 $0.5\text{ mm} \times 0.1\text{ mm}$ ；每个“蝴蝶翅膀”上有 4 个平行四边形缝隙，每个缝隙长度为 0.35 mm ，宽度为 0.1 mm ，两个缝隙之间的距离为 0.1 mm ，第 1 个缝隙与“蝴蝶翅膀”上边沿距离为 0.15 mm ，第 4 个缝隙与“蝴蝶翅膀”下边沿距离为 0.15 mm 。每个蝶形仿生小天线的“蝴蝶身体”中心位置设有馈电点。

蝶形仿生阵元天线虽然能够实现完全覆盖第二代到第五代移动通信频段、射频识别系统频段、超宽带系统频段、移动数字电视频段，但其毕竟只是单体天线，辐射能量有限，辐射能量分布在如此宽的工作频带上，会造成天线辐射强度较弱。多个阵元天线通过组阵的方法形成天线阵列，可以有效的增强天线辐射强度。将蝶形仿生阵元天线按照希尔伯特分形阵列结构组成天线阵列，天线整体上是希尔伯特分形折线，局部是蝶形仿生辐射结构，天线将兼具二者的优点，同时具备较强辐射能力和较大的工作带宽。

如图3所示，高兼容性分形阵列仿生天线使用矩形透波陶瓷材料作为基板，它的介电常数为60，尺寸是 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ 。在设计中使用1阶希尔伯特分形结构作为基本阵列排布结构，46个蝶形仿生阵元天线按照希尔伯特分形阵列结构排列组成天线阵列，每个蝶形仿生小天线的几何中心相连能够组成希尔伯特分形折线。

6. 天线样品的制作与测试

根据上述设计方案，使用磁控溅射法制作了高兼容性分形阵列仿生天线样品，如图4所示。我们对天线的工作性能进行了测试，结果如图5和图6所示。

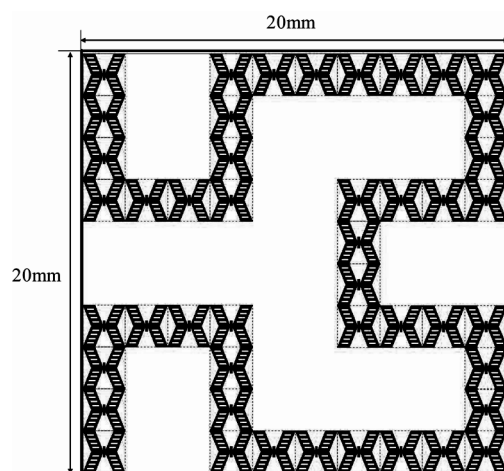


Figure 3. The structure sketch map of high compatibility fractal array bionic antenna
图 3. 高兼容性分形阵列仿生天线结构示意图



Figure 4. The sample photo of high compatibility fractal array bionic antenna
图 4. 高兼容性分形阵列仿生天线样品照片

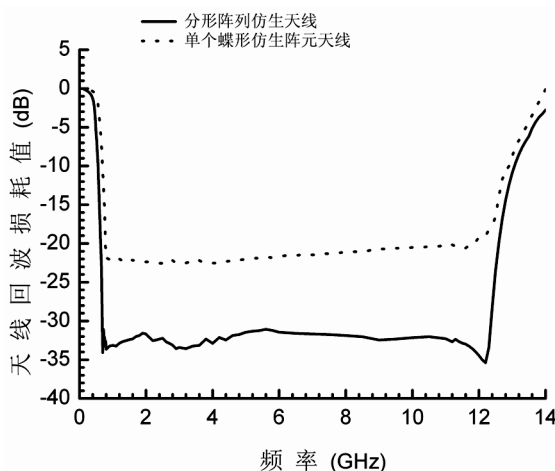


Figure 5. The measured radiation characteristics of antenna

图 5. 天线实测辐射特性

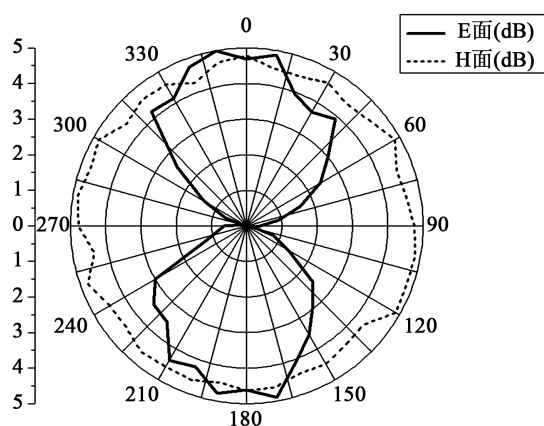


Figure 6. The measured radiation pattern of antenna

图 6. 天线实测方向图

从图 5 可知，单独使用蝶形仿生阵元天线可实现对移动通信频段、射频识别系统频段、超宽带系统频段、移动数字电视频段的完全覆盖，但辐射能量较弱，回波损耗性能冗余较小。46 个蝶形仿生阵元天线组成分形阵列仿生天线后，每个阵元天线的辐射同相叠加，阵列天线的回波损耗值远远小于单个蝶形仿生阵元天线。按照分形排布规律组阵后，阵列天线在保持宽频带工作特性的同时，辐射强度大大提高。

实测结果显示，该款天线的工作频带范围为 0.554~13.057 GHz，工作带宽为 12.503 GHz，带宽倍频程为 23.57，回波损耗最小值为 -35.39 dB。该款天线完全覆盖了第二代移动通信 GSM 制式 0.905~0.915 GHz、0.950~0.960 GHz、1.710~1.785 GHz、1.805~1.880 GHz 频段，第三代移动通信 TD-SCDMA 制式 1.880~1.920 GHz、2.010~2.025 GHz、2.300~2.400 GHz 频段，第三代移动通信 WCDMA 制式 1.920~1.980 GHz、2.110~2.170 GHz 频段，第四代移动通信 TD-LTE 制式 2.570~2.620 GHz 频段，第五代移动通信 3.300~3.400 GHz、4.400~4.500 GHz、4.800~4.990 GHz 三个候选频段，射频识别系统 0.902~0.928 GHz、2.400~2.4835 GHz、5.725~5.875 GHz 三个常用频段，超宽带系统 3.100~10.600 GHz 频段，移动数字电视系统 11.700~12.200 GHz 频段。

从图 6 可知，天线方向图的电面和磁面在 360 度范围内均能有效辐射，该天线具有良好的全向工作性能。

7. 结束语

本文针对移动通信系统、射频识别系统、超宽带系统、移动数字电视系统对天线的性能要求, 使用低损耗微波陶瓷材料作为基板, 将蝶形仿生辐射结构、希尔伯特分形阵列相结合, 设计了一款高兼容性分形阵列仿生天线, 制作了天线样品进行了测试。实测结果显示, 该款天线完全覆盖了第二代移动通信 GSM 制式通信频段、第三代移动通信 TD-SCDMA 制式通信频段、第三代移动通信 WCDMA 制式通信频段、第四代移动通信 TD-LTE 制式通信频段、第五代移动通信三个候选频段, 射频识别系统三个常用频段, 超宽带通信系统频段, 移动数字电视系统频段。

与现有的多频段移动通信天线相比, 该款天线实现了同时覆盖第二到第五代移动通信频段, 兼具小尺寸、高辐射强度、大工作带宽这三个设计要求, 具有较大的性能优势; 与现有的射频识别天线相比, 该款天线回波损耗和带宽的冗余较大, 天线各个工作频段的性能较为平衡, 天线回波损耗值很平稳, 波动较少, 能够在各种不可预知的恶劣电磁环境下保证射频识别无线信号的传输质量; 与现有的超宽带天线相比, 该款天线用一个宽达 12.503 GHz、带宽倍频程达到 23.57 的超宽工作频带, 实现了对 3.100~10.600 GHz 频段的覆盖, 性能远远好于用多个工作频段叠加的方式实现频段覆盖的超宽带天线; 与现有的移动数字电视天线相比, 该款天线工作带宽较大, 在多功能和兼容性方面有巨大优势。

该款天线克服了移动通信系统、射频识别系统、超宽带系统、移动数字电视系统天线设计中存在的一系列问题, 很好的实现了对上述四类系统的兼容。使用该款天线后, 智能手机可以和射频识别读写器、超宽带终端设备、移动数字电视终端设备结合在一起, 升级成为多功能的“智能终端”。

基金项目

福建省高校杰出青年科研人才培养计划项目(闽教科[2017]52号); 福建省自然科学基金计划资助项目(项目编号: 2016J01318)。

参考文献 (References)

- [1] Chen, S.J., Dong, D.C., Liao, Z.Y., *et al.* (2014) Compact Wideband and Dual-band Antenna for TD-LTE and WLAN Applications. *Electronics Letters*, **50**, 1111-1112. <https://doi.org/10.1049/el.2014.1576>
- [2] Yeo, J. and Lee, J.I. (2017) CPW-Fed Wideband Loop Antenna for Indoor Digital TV Applications. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, **21**, 1492-1497.
- [3] Bekali, Y.K. and Essaaidi, M. (2013) Compact Reconfigurable Dual Frequency Microstrip Patch Antenna for 3G and 4G Mobile Communication Technologies. *Microwave and Optical Technology Letters*, **55**, 1622-1626. <https://doi.org/10.1002/mop.27649>
- [4] Huang, Y.M., Leung, V.C.M., Lai, C.F., *et al.* (2015) Reconfigurable Software Defined Radio in 5G Mobile Communication Systems. *IEEE Wireless Communications*, **22**, 12-14. <https://doi.org/10.1109/MWC.2015.7368819>
- [5] Qian, M., Wang, Y., Zhou, Y., *et al.* (2015) A Super Base Station Based Centralized Network Architecture for 5G Mobile Communication Systems. *Digital Communications and Networks*, **1**, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2015.02.003>
- [6] Ma, D. and Saxena, N. (2014) A Context-aware Approach to Defend Against Unauthorized Reading and Relay Attacks in RFID Systems. *Security and Communication Networks*, **7**, 2684-2695. <https://doi.org/10.1002/sec.404>
- [7] He, J.L., Xu, Y.J. and Xu, Z.Q. (2014) Secure and Private Protocols for Server-less RFID Systems. *International Journal of Control and Automation*, **7**, 131-142. <https://doi.org/10.14257/ijca.2014.7.2.13>
- [8] Pratap, L.B., Kundu, D. and Mohan, A. (2016) Planar Microstrip-Fed Broadband Circularly Polarized Antenna for UWB Applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, **58**, 1088-1093. <https://doi.org/10.1002/mop.29739>
- [9] Khalid, S., Wen, W.P. and Cheong, L.Y. (2014) Synthesis Design of UWB Bandpass Filter Using Multiple Resonance Resonator (MRR). *Electronics Letters*, **50**, 1851-1853. <https://doi.org/10.1049/el.2014.3010>
- [10] Elsheekh, D.M.N. and Safwat, A.M.E. (2014) Compact 3D USB Dongle Monopole Antenna for Mobile Wireless Communication Bands. *Journal of Microwave and Wireless Technologies*, **6**, 639-644.

<https://doi.org/10.1017/S1759078714000245>

- [11] Yang, L.X., Shi, B., Mao, S.L., *et al.* (2014) Design and Analysis of a Dual-Band Koch-Fractal Antenna with a Slot. *Chinese Journal of Radio Science*, **29**, 492-497.
- [12] Guan, L., Rulikowski, P. and Kearney, R. (2016) Flexible Practical Multi-Band Large Scale Antenna System Architecture for 5G Wireless Networks. *Electronics Letters*, **52**, 970-972. <https://doi.org/10.1049/el.2015.4370>
- [13] Belhadef, Y. and Hacene, N.B. (2012) Multiband F-PIFA Fractal Antennas for the Mobile Communication Systems. *International Journal of Computer Science Issues*, **9**, 266-270.
- [14] Bong, F.L., Lim, E.H. and Lo, F.L. (2017) Flexible Folded-Patch Antenna with Serrated Edges for Metal-Mountable UHF RFID Tag. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **65**, 873-877. <https://doi.org/10.1109/TAP.2016.2633903>
- [15] Hamani, A., Yagoub, M.C.E., Vuong, T.P., *et al.* (2017) A Novel Broadband Antenna Design for UHF RFID Tags on Metallic Surface Environments. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **16**, 91-94. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2557778>
- [16] Marques, D., Egels, M. and Pannier, P. (2016) Broadband UHF RFID Tag Antenna for Bio-Monitoring. *Progress in Electromagnetics Research B*, **67**, 31-44. <https://doi.org/10.2528/PIERB16020103>
- [17] Colella, R., Pasca, M., Catarinucci, L., *et al.* (2016) RF-DC Converter for HF RFID Sensing Applications Powered by a Near-Field Loop Antenna. *Radio Science*, **51**, 942-950. <https://doi.org/10.1002/2016RS006017>
- [18] Zhou, J.M. (2016) A Design of Micro-Strip Antenna in the RFID System and UWB System. *Recent Advances in Electrical and Electronic Engineering*, **9**, 119-123.
- [19] Tripathi, S., Mohan, A. and Yadav, S. (2017) A Compact UWB Koch Fractal Antenna for UWB Antenna Array Applications. *Wireless Personal Communications*, **92**, 1423-1442. <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3613-1>
- [20] Dastranj, A. (2017) Optimization of a Printed UWB Antenna: Application of the Invasive Weed Optimization Algorithm in Antenna Design. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, **59**, 48-57. <https://doi.org/10.1109/MAP.2016.2630025>
- [21] Wang, Z.Y., Jin, R.H., Jin, Y., *et al.* (2016) Propagation Model for Mobile Digital TV Coverage under Viaduc. *Radio Science*, **45**, 1-9.
- [22] Carey, J. (2016) Audience Measurement of Digital TV. *International Journal of Digital Television*, **7**, 119-132. https://doi.org/10.1386/jdtv.7.1.119_1
- [23] Silva, V.J., Ferreira, V.F.D. and Viana, N.S. (2015) Architecture for Integrating Healthcare Services to the Brazilian Digital TV System. *IEEE Latin America Transactions*, **13**, 241-249. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7040654>
- [24] Kumar, Y. and Singh, S. (2016) Microstrip Fed Multiband Hybrid Fractal Antenna for Wireless Applications. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, **31**, 327-332.
- [25] Rani, S. and Singh, A.P. (2014) A Novel Design of Hybrid Fractal Antenna Using BFO. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, **27**, 1233-1241.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3983, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjwc@hanspub.org