

Design of the Growing Square Slot Fractal Array Ultra Wideband Antenna

Yilang Pan, Zhenchang Li, Bin Lin*, Zhijie Hong, Ping Zheng, Xinyu Wei

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

Received: May 22nd, 2019; accepted: Jun. 6th, 2019; published: Jun. 13th, 2019

Abstract

According to the performance requirements of the antennas for the microwave multi band compatible system, the present paper originally combines growing square slot structure, embedded slot fractal iterative structure, rectangular array antenna, relative dielectric constant gradual thin film, potassium tantalum niobate thin film, Fe-based nanocrystalline alloy coating and graphene conductive ink, to design a growing square slot fractal array ultra wideband antenna. The result of test indicates that this antenna has stable and reliable ultra-wideband radiation capability, can resist external electromagnetic signal interference, and has sufficient redundancy, small size and high radiation intensity. 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 the ultra wideband system, and the frequency band of the mobile digital TV system. This antenna will have great application prospects in the coming era of microwave band multi-network integration.

Keywords

Growing Square Slot Structure, Embedded Slot Fractal, Rectangular Array Antenna, Relative Dielectric Constant Gradual Thin Film, Potassium Tantalum Niobate Thin Film, Fe-Based Nanocrystalline Alloy Coating, Ultra Wideband Antenna

生长方形缝隙分形阵列超宽频带天线设计

潘依郎, 李振昌, 林斌*, 洪志杰, 郑萍, 魏昕煜

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: 2019年5月22日; 录用日期: 2019年6月6日; 发布日期: 2019年6月13日

*通讯作者。

文章引用: 潘依郎, 李振昌, 林斌, 洪志杰, 郑萍, 魏昕煜. 生长方形缝隙分形阵列超宽频带天线设计[J]. 无线通信, 2019, 9(3): 112-118. DOI: [10.12677/hjwc.2019.93014](https://doi.org/10.12677/hjwc.2019.93014)

摘要

本文针对微波多频段兼容系统对天线的性能要求,将生长方形缝隙结构、“嵌入式”缝隙分形迭代结构、矩形阵列天线、相对介电常数渐变薄膜、钽铌酸钾薄片、铁基纳米晶合金镀层、石墨烯导电墨水等一系列先进的技术和材料有机结合,设计了一款生长方形缝隙分形阵列超宽频带天线。实测结果表明,该款天线具有稳定可靠的超宽频带辐射能力,能够抵抗外界电磁信号干扰,性能冗余充足,尺寸小,辐射强度高,能够完全覆盖第二代至第五代移动通信频段、射频识别频段、超宽带通信频段和移动数字电视频段,在即将到来的微波频段多网合一时代有巨大的应用前景。

关键词

生长方形缝隙结构,“嵌入式”缝隙分形,矩形阵列天线,相对介电常数渐变薄膜,钽铌酸钾薄片,铁基纳米晶合金镀层,超宽频带天线

Copyright © 2019 by author(s) 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

无线通信技术在本世纪初取得了重大进展,即将进入多网合一与多系统整合的新的发展阶段。在多网合一时代,多个工作原理相似、通信设备可兼容的无线通信应用系统将被整合在一起,实现具有多种通信功能的智能多用途终端和智能基站。目前应用最为广泛、发展最为成熟的无线通信应用系统都工作于微波频段,且工作频率接近,系统间设备有较大的通用性,通过整合实现微波频段多网合一系统的前景较好[1]-[6]。

多网合一系统要求天线具备多频段兼容功能。我国目前使用的移动通信频段为2G系统905~915 MHz、950~960 MHz、1710~1785 MHz、1805~1880 MHz,3G系统1880~1920 MHz、1920~1980 MHz、2010~2025 MHz、2110~2170 MHz、2300~2400 MHz,4G系统2570~2620 MHz,5G系统3300~3400 MHz、4400~4500 MHz、4800~4900 MHz [7] [8] [9] [10]; RFID频段为902~928 MHz、2400~2485 MHz、5725~5875 MHz,超宽带频段为3100~10600 MHz;移动数字电视频段为11700~12200 MHz。微波多频段兼容天线要完全覆盖上述频段,能够抵抗外界电磁信号干扰,性能冗余充足,尺寸小,辐射强度高。

2. 国内外研究现状

国内外现有的移动通信天线不能完全实现宽频带工作、高辐射强度、尺寸微型化这三个目标,且目前只能兼容2G、3G、4G系统,同时兼容2G到5G系统的移动通信天线,国内外其他研究团队还未完成设计[11]-[16]。

国内外现有的RFID天线是各种改进型印刷天线,尚无法同时实现小尺寸、小体积、低回波损耗、大工作带宽和全向辐射这五个要求,且天线工作中心频率的稳定性不够,天线在多个工作频段的性能不平衡[17] [18]。

国内外现有的移动数字电视天线都是大型金属天线,受尺寸和重量限制,较难安装在车辆上,且抗干扰能力较弱,经常出现电视画面不清晰、图像与声音不同步等问题。金属天线在室外露天环境工作时,容易被腐蚀,导致天线工作性能不稳定[19] [20] [21] [22]。

国内外现有的超宽带天线实质上是多频叠加天线，天线辐射性能不够稳定，回波损耗值波动较大。现有的超宽带天线未能实现同时覆盖 2G 到 5G 移动通信频段、RFID 频段和移动数字电视频段[23] [24] [25]。

多网合一终端设备要同时和多种基站、信号源设备进行通信，多网合一终端内部和外壳也有较多金属部件，射频信号源、周围环境电磁波、金属部件的反射信号都可能对多网合一天线的辐射产生干扰。这就要求微波频段多网合一天线具有强抗干扰性能，能够有效屏蔽周围电磁场和金属物体反射信号的干扰。现有的微波频段宽频带天线还未能实现这一性能指标，它们较容易受到射频信号源的干扰，抗干扰能力有待提高。

3. 生长方形缝隙分形结构简介

生长方形缝隙分形结构的迭代规律如图 1 所示。生长方形缝隙分形结构的初始结构是正方形，将其等分为 12 行 12 列 144 个小正方形，将图 1 所示的 36 个小正方形挖去，得到 1 阶生长方形缝隙分形结构，对其 108 个正方形区域，分别再做生长方形缝隙分形迭代，则得到 2 阶生长方形缝隙分形结构。按照这种方法继续迭代，可得到高阶的生长方形缝隙分形结构。

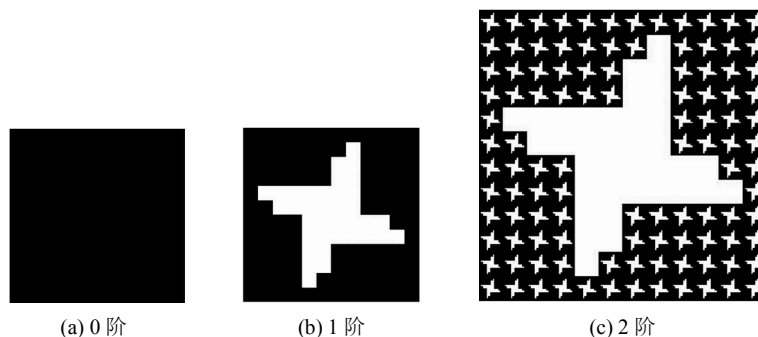


Figure 1. The sketch map of the growing square slot fractal structure
图 1. 生长方形缝隙分形结构示意图

生长方形缝隙结构可以看作是在方形辐射贴片内部先开出一个 4 行 4 列的方形缝隙，然后在方形缝隙的四条边上各开出一个 2 行 2 列的方形小缝隙，最后在每个方形小缝隙最外侧的边上开出一个 1 行 1 列的方形单位缝隙。方形小缝隙可以看成是“生长”在方形缝隙外侧，方形单位缝隙可以看成是“生长”在方形小缝隙外侧。缝隙每“生长”一次，就在高频段新增加一个工作频段，多个缝隙的工作频段叠加，保证了天线具有良好的带宽性能。生长方形缝隙分形结构是一种全新的“嵌入式”缝隙分形迭代方式，兼具生长方形缝隙和“嵌入式”缝隙分形结构的优点，具有优异的宽频带工作能力。在天线设计中使用结构，可以利用分形缝隙结构的自相似性使天线辐射贴片内部具有均匀的电流分布，保证天线具有稳定的超宽频带工作性能。

4. 相对介电常数渐变薄膜简介

聚对苯二甲酸乙二酯(PET)薄膜化学性质稳定，耐高低温能力强，使用它作为天线基质材料，可以保证天线有稳定的物理和化学性质。

相对介电常数渐变的 PET 薄膜基质可以划分为多行多列多个小区域，每个薄膜基质小区域的相对介电常数沿着薄膜基质长、宽两个方向渐变。使用这种薄膜基质后，阵列中不同阵元天线的基质参数不同，天线工作频点不同。不同阵元天线的辐射和工作频带相互叠加，从而提高阵列天线的辐射性能和带宽性能。

5. 钽铌酸钾薄片、铁基纳米晶合金镀层、石墨烯导电墨水简介

钽铌酸钾是一种有着良好的热稳定性、化学稳定性、机械稳定性的高介电常数低损耗化合物，能够形成高效的电场屏蔽层，防止外部电场干扰天线工作。铁基纳米晶合金具有很高的磁导率和极低的损耗，可以有效阻止外界磁场对天线工作的干扰。将钽铌酸钾薄片和铁基纳米晶合金镀层组合在一起，可以有效阻止天线周围环境电磁场对天线辐射的干扰。

石墨烯具有很高的电子迁移率，制作成导电墨水后能通过的射频电流强度大，以石墨烯导电墨水印制天线辐射贴片，可以增强天线内部的射频电流强度，提高天线辐射强度。石墨烯导电墨水不含金属，印制天线辐射贴片可以有效防止腐蚀。

6. 天线结构设计

在设计中，天线基质使用如图 2 所示的相对介电常数渐变的矩形 PET 薄膜，其大小是 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 0.2\text{ mm}$ 。薄膜基质由 4 行 4 列共 16 个小区域组成，每个小区域的相对介电常数沿着薄膜基质长、宽两个方向渐变，左上角小区域是最小值 22.0，右下角小区域是最大值 28.0；每个小区域的相对介电常数从左到右、从上到下递增，相邻小区域的差值为 1.0。

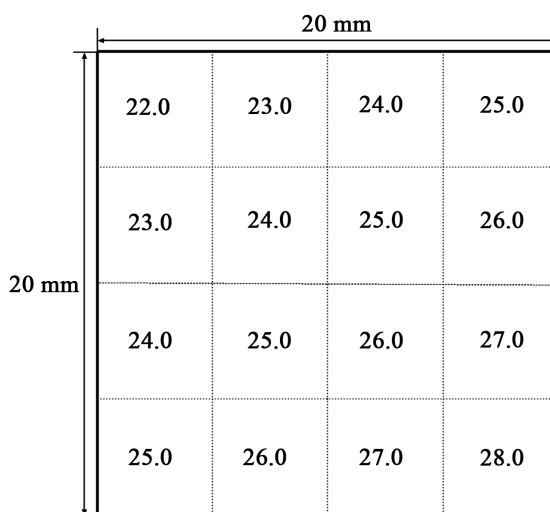


Figure 2. The structure sketch map of the relative dielectric constant gradual thin film

图 2. 相对介电常数渐变薄膜结构示意图

天线整体分层截面结构如图 3 所示，天线整体结构包括薄膜基质、贴覆在薄膜基质正面的生长方形缝隙分形阵列馈电辐射贴片、贴覆在薄膜基质背面的天线接地板、贴覆在天线接地板背面的钽铌酸钾薄片、贴覆在钽铌酸钾薄片背面的铁基纳米晶合金镀层。

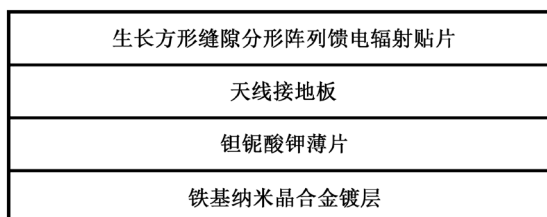


Figure 3. The structure sketch map of the integral layered cross section structure of antenna

图 3. 天线整体分层截面结构示意图

天线接地板为全导电结构接地板，生长方形缝隙分形阵列馈电辐射贴片的结构如图 4 所示，4 行 4 列共 16 个生长方形缝隙分形小天线按照矩形阵列结构排列组成天线阵列。每个生长方形缝隙分形小天线是在尺寸为 $4.8 \text{ mm} \times 4.8 \text{ mm}$ 的矩形区域进行生长方形缝隙分形迭代而得到。生长方形缝隙分形小天线使用了 2 阶的生长方形缝隙分形结构。每个生长方形缝隙分形小天线的底部边沿中心处设有天线馈电点。

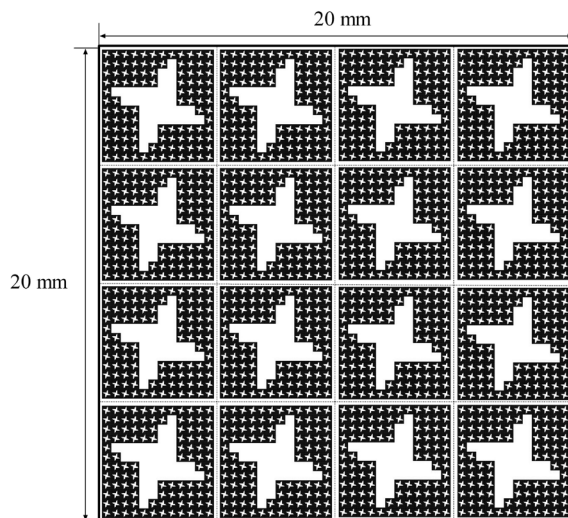


Figure 4. The sketch map of the growing square slot fractal array feed radiation patch
图 4. 生长方形缝隙分形阵列馈电辐射贴片示意图

单个生长方形缝隙分形小天线虽然能够宽频带工作，但辐射强度不足，多个阵元天线组成天线阵列可以有效提高天线的辐射强度。

钽铌酸钾薄片为微波频段低损耗钽铌酸钾薄片，其形状为矩形，尺寸是 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ，厚度为 0.3 mm ，相对介电常数为 200。铁基纳米晶合金镀层的尺寸与钽铌酸钾薄片的尺寸相同，所用铁基纳米晶合金是以铁元素为主，添加少量铌、铜、硅、硼元素，使用快速凝固工艺制成的非晶态低损耗高磁导率合金材料。天线辐射贴片和天线接地板由石墨烯导电墨水印制而成。

7. 天线样品测试

我们制作了天线样品，完成了辐射性能实测，结果如图 5 和图 6 所示。

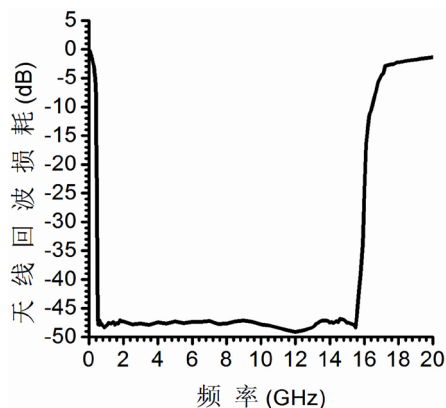


Figure 5. The measured radiation characteristics of antenna
图 5. 天线实测辐射特性

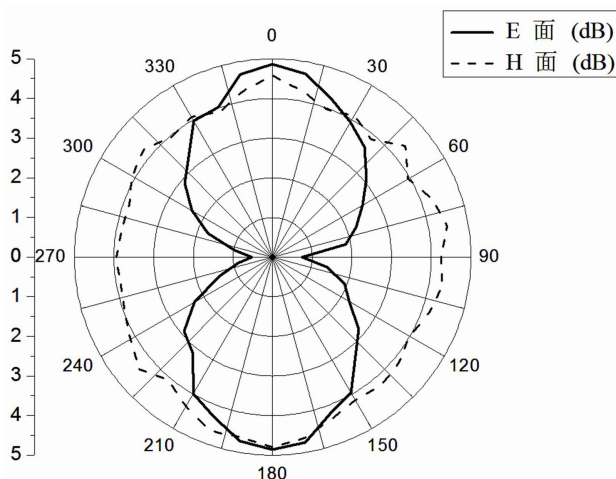


Figure 6. The measured radiation pattern of antenna
图 6. 天线实测方向图

从图 5 可知, 该款天线的覆盖频带为 426 MHz~16452 MHz, 频带宽度为 16026 MHz, 倍频带宽为 38.62, 最低回波损耗值为 -49.13 dB。该款天线在实测中能够有效抵抗外界电磁信号干扰, 放置在射频信号源附近时能够正常辐射工作。该款天线完全覆盖了超宽带频段、2G 到 5G 移动通信频段、RFID 频段和移动数字电视频段。

从图 6 可知, 该款天线具有球面全向辐射能力。

该款天线具有突出的性能优势: 天线实现了单一频段的超宽频带工作, 用个工作带宽超过 16 GHz, 倍频带宽高达 38.62 的超大工作频段, 一次性覆盖了超宽带频段、2G 到 5G 移动通信频段、RFID 频段和移动数字电视频段; 天线性能冗余充足, 工作频段内回波损耗值大都低于 -45 dB, 最低回波损耗值达 -49.13 dB, 且回波损耗值很平稳, 天线辐射性能稳定可靠; 天线有优异的抗干扰性能, 能够放置在移动通信基站、射频识别读写器、超宽带通信发射机、移动数字电视发射机等射频信号源附近正常工作, 天线辐射性能不会受到影响。

8. 结束语

本文针对微波频段多网合一系统对多频段兼容天线的性能要求, 设计了一款生长方形缝隙分形阵列超宽频带天线, 使用生长方形缝隙结构和“嵌入式”缝隙分形迭代结构结合而成的生长方形缝隙分形天线作为阵元天线, 分形结构的自相似性和多次“生长”后多个缝隙的工作频段叠加, 保证了天线具有良好的带宽性能; 多个阵元天线组成矩形阵列, 其辐射相叠加, 使阵列天线同时具有较大的工作带宽和较强的辐射强度, 天线有较大的性能冗余; 使用相对介电常数渐变的聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)薄膜作为天线基质材料, 保证天线具有很好的温度适应性、抗腐蚀性和稳定的物理、化学特性, 并利用叠加原理进一步提高阵列天线的辐射性能和带宽性能; 在天线结构中使用钽铌酸钾薄片和铁基纳米晶合金镀层, 有效提高天线抵抗外界电磁场干扰的能力; 使用石墨烯导电墨水印制天线的辐射贴片, 有效防止腐蚀并提高天线辐射强度。实测结果显示, 该款天线抗电磁干扰能力强, 有较大性能冗余, 有超宽频带工作能力, 可以完全覆盖四种无线通信应用系统的工作频段, 尺寸小, 辐射性能较强且稳定可靠, 有望广泛应用于微波频段多网合一系统中。

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)。

参考文献

- [1] Bekali, Y.K. and Essaïdi, 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>
- [2] 杨骅, 周正兰. TD-LTE 标准的深度分析[J]. 移动通信, 2015, 39(1): 7-11.
- [3] Qian, M., Wang, Y., Zhou, Y., Tian, L. and Shi, J.-L. (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>
- [4] 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>
- [5] Wei, X., Mei, T., Yu, L., et al. (2017) Triple Band-Notched UWB Monopole Antenna on Ultra-thin Liquid Crystal Polymer Based on ESCSRR. *Electronics Letters*, **53**, 57-58. <https://doi.org/10.1049/el.2016.3807>
- [6] Liao, W.-J., Chou, S.-H., Chen, Y.-A., et al. (2017) Frequency Reconfigurable Antenna for VHF/UHF Digital TV Reception on Portable Devices Using Switching Matching Networks. *Microwave and Optical Technology Letters*, **59**, 2800-2806. <https://doi.org/10.1002/mop.30819>
- [7] Huang, Y.M., Leung, V.C.M., Lai, C.-F., Mukhopadhyay, S. and Lai, R.X. (2015) Reconfigurable Software Defined Radio in 5G Mobile Communication Systems. *IEEE Wireless Communications*, **22**, 12-14. <https://doi.org/10.1109/MWC.2015.7368819>
- [8] 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>
- [9] Elsheikh, D.M. and Safwat, A.M.E. (2014) Compact 3D USB Dongle Monopole Antenna for Mobile Wireless Communication Bands. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, **6**, 639-644. <https://doi.org/10.1017/S1759078714000245>
- [10] Chen, K. (2012) MIMO Beamforming and Its Impact on Testing TD-LTE. *Microwave Journal*, **55**, 96-102.
- [11] 樊磊, 骆延, 黄卡玛, 等. 一种基于分形结构的树生长微带天线设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(2): 229-232.
- [12] Belhadeif, 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.
- [13] Kaboli, O., Ashtasbi, A. and Monajati, A. (2015) Design, Simulation, Fabrication and Measurement of 900MHZ Newhybrid Fractal Dipole Antenna. *International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering*, **6**, 20-22.
- [14] 毛建军, 于大群, 焦永昌. 一种用于 5G 的大规模 MIMO 天线阵设计[J]. 现代雷达, 2016, 38(2): 66-69.
- [15] 刘宁, 袁宏伟. 5G 大规模天线系统研究现状及发展趋势[J]. 电子科技, 2015, 28(4): 182-185.
- [16] 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>
- [17] 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>
- [18] Wang, C.-F., Zhong, S.-M. and Wang, J. (2014) Design of Abnormal Data Analysis and Processing System Based on RFID Supply Chain. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, **9**, 349-360.
- [19] 戴世青. 基于数字移动电视新技术新发展的探讨[J]. 科技传播, 2015, 7(2): 110+72.
- [20] 黄金伟. 浅析移动数字电视技术及其应用[J]. 中国新通信, 2016, 18(7): 37-38.
- [21] 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>
- [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] 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>
- [24] 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>
- [25] 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>

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