

# Design of UHF RFID Reader Antenna Based on Fractal Structure

Guanping Fan, Guanmao Zhang\*, Litao Qiao, Yunfei Yan, Panpan Ren, Shuo Yang

Institute of Optoelectronics & Electromagnetic Information, School of Information Science and Engineering, Lanzhou University, Lanzhou Gansu  
Email: \*zhanggm@lzu.edu.cn

Received: Jan. 30<sup>th</sup>, 2019; accepted: Feb. 14<sup>th</sup>, 2019; published: Feb. 21<sup>st</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, a kind of RFID reader antenna, which is based on the fractal structures, is designed to work in UHF band. The antenna works in China's RFID standard frequency band (920 MHz - 925 MHz). The antenna is designed in microstrip patch, using FR-4 material as substrate, and it is fed with the commonly used 50  $\Omega$  coaxial line to form a good impedance match. Two types of the fractal structure, Minkowski and Koch, are used in the design of the antenna to achieve the miniaturization of the target antenna with the volume of  $100 \times 100 \times 1.6 \text{ mm}^3$ . The measured results of the proposed antenna are matched very well with the numerical simulation results. The antenna's impedance bandwidth ( $S_{11} < -10 \text{ dB}$ ) is 11 MHz and the bandwidth of the voltage standing wave ratio ( $VSWR < 2$ ) is 13 MHz, which covered the UHF RFID standard band.

## Keywords

Antenna, Fractal Structure, Compact Design, RFID Reader, UHF Band

---

# 基于分形结构的UHF RFID阅读器天线设计

范观平, 张冠茂\*, 乔利涛, 闫云菲, 任盼盼, 杨 硕

兰州大学信息科学与工程学院光电子与电磁信息研究所, 甘肃 兰州  
Email: \*zhanggm@lzu.edu.cn

收稿日期: 2019年1月30日; 录用日期: 2019年2月14日; 发布日期: 2019年2月21日

---

## 摘 要

基于分形结构设计了一种工作于UHF频段的RFID阅读器天线, 其工作频段覆盖了中国的RFID标准频段

\*通讯作者。

(920 MHz~925 MHz)。天线结构以FR-4材料为基底,采用微带贴片化设计方案。运用常规的50  $\Omega$ 同轴线对天线进行馈电,与天线形成良好的阻抗匹配。天线设计当中同时采用了闵可夫斯基和科赫两种分形结构,实现了目标天线的小型化,其尺寸为100  $\times$  100  $\times$  1.6 mm<sup>3</sup>。天线实测结果表明,目标天线的数值仿真分析与实测结果相吻合,实测阻抗带宽(S11 < -10 dB)为11 MHz,驻波比带宽(VSWR < 2)为13 MHz,并且覆盖了UHF RFID标准频段。

## 关键词

天线,分形结构,小型化设计,RFID阅读器,UHF频段

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

RFID (Radio Frequency Identification),即无线射频识别标签,是一种非接触式的通信技术,通过电磁波在空间的传播实现信息的传递,相较于条形码技术,RFID 具有更高的稳定性,更快的传输速率以及更大的信息容量。RFID 阅读器能够对处于恶劣环境中的电子标签进行识别,并且阅读速度快,广泛应用于产品跟踪、供应链、生物传感等领域[1]。RFID 标签在要求低成本的同时,还要求具有高的可靠性。其中,标签天线和读写器天线还分别承担着接收能量和发射能量的作用,这些因素对天线设计都提出了严格的要求。当前对 RFID 天线的研究主要集中在研究天线结构和环境因素对天线性能的影响上。相比之下,由于信号在高频段的传输速率快,传播距离远,因此 UHF 频段的 RFID 应用备受青睐,围绕 UHF 频段 RFID 天线的设计也成为广大科研工作者的关注点之一。

由于无线应用中频率资源的有限,为了达到管理和创造效益的目的,不同国家和地区规定了各自能够使用的 RFID 频段,北美为 902 MHz~928 MHz,欧洲为 865 MHz~868 MHz,日本为 952 MHz~957.6 MHz [2]。根据中国颁布的国家标准,UHF 频段 RFID 技术具体使用频率为 840 MHz~845 MHz 和 920 MHz~925 MHz。因为这些标准的设立,使得一定区域内 RFID 设备能够通用和流通,在一定程度上降低了技术成本和制造难度。

天线是 RFID 系统的重要组成部分,其工作频率决定了整个 RFID 系统的工作频率,因此一款性能优越的天线将对整个 RFID 系统的性能产生至关重要的影响。在大部分的近场应用中,要求 RFID 设备的便携性要好,为此 RFID 天线也要求尽可能的小型化,并且易于集成到设备当中。在射频识别的众多频段当中,人们对低频和低频频段的研究已经相对比较成熟,目前发展最快应用也最为广泛的 UHF 频段的 RFID 系统正成为亟待加强研究的领域之一。由于采用传统技术的 UHF 频段的 RFID 天线尺寸较大,为了应对实际发展的需要,本文在此着重研究了 UHF 频段 RFID 天线的小型化技术,并创造性地将两种分形结构(闵可夫斯基分形和科赫分形)结合在一起,应用到 RFID 天线结构的设计当中,从而有效地达到 RFID 天线小型化的目的。另外,为了使 RFID 天线易于集成和加工,并且达到降低制作成本的目的,本文设计的 RFID 阅读器天线采用了微带贴片设计方案,以 FR-4 材料作为天线介质基板,采用通用的 50  $\Omega$  同轴线进行馈电,满足了简单易用小型化的设计要求,并且其工作频段位于 RFID 所要求的国家标准频段(920 MHz~925 MHz)。

## 2. 天线的设计

### 2.1. 天线的小型化

在未来的天线发展当中，结构的小型化是一种趋势，在实现同样或更高性能的同时，可以有效地缩减天线的尺寸，这将会增加大部分天线的应用场合，并且使得天线能够更加方便地集成到系统设备当中。此外，借助于天线的小型化，也有助于减少周围环境对于无线网络设施的影响。

工作于 UHF 频段的的天线，当频率给定时，对应的自由空间的波长就已经确定了，因此天线要辐射该频率的电磁波时，其尺寸受其工作波长的制约，工作波长越长，则产生谐振辐射电磁波的天线所需尺寸将越大，反之则越小。天线的工作波长也与其介质有关，高介电常数的介质能够有效缩短天线的工作波长，从而缩小天线的整体尺寸，因此采用高介电常数的介质也是天线小型化的技术之一。天线的小型化技术还包括天线加载技术、表面开槽(曲流技术)等，这些方法均能够改变辐射体电流的分布或其路径，从而改变天线的谐振频率，进而改变天线的尺寸[3]。

研究人员对天线的小型化已经做了大量的工作，文献[4]设计的天线利用互耦的方法增加了天线的工作带宽，辐射单元采用印刷扇形弯折偶极子的小型化技术，使得天线的整体尺寸为  $70 \times 70 \times 25 \text{ mm}^3$ ，但由于天线为双层结构，其厚度较大，因此其与设备的集成仍有待改进；文献[5]的天线利用威尔金森功分器馈电，实现了天线的宽带圆极化特性，并且天线的辐射单元在相邻两边处刻出了两个圆环槽，降低了天线的谐振频率，从而减小了天线的尺寸，该天线采用双层结构的设计方法，其整体尺寸为  $100 \times 100 \times 22.9 \text{ mm}^3$ ，并且天线的馈电较为复杂，对制作精度和隔离度有着更高的要求；文献[6]在圆形贴片天线表面开了 5 个槽，实现了天线的双频工作以及圆极化特性，并且降低了天线尺寸，其结构大小为  $200 \times 200 \times 1.524 \text{ mm}^3$ ，该天线性能较好且在一定程度上实现了小型化，但尺寸相对其他仍然比较大而且天线的厚度精度要求较高；文献[7]设计了一款基于科赫分形的小型化天线，并且采用非对称设计实现圆极化，天线尺寸为  $54 \times 54 \times 1.6 \text{ mm}^3$ ，该天线具有很好的小型化效果，但天线的非对称参数对制作要求较高。基于上述理由，分形和开槽等技术的运用能够实现天线的小型化，因此本文将基于分形结构设计一款满足要求的小型化天线。

### 2.2. 天线的结构设计

本文设计的天线使用分形技术来减小尺寸。为了减少分形的阶数，并且达到缩减天线尺寸的目的，设计中将两种分形技术结合在一起，分别为一阶闵可夫斯基(Minkowski)分形和一阶科赫(Koch)分形。这两种分形结构如图 1 所示。

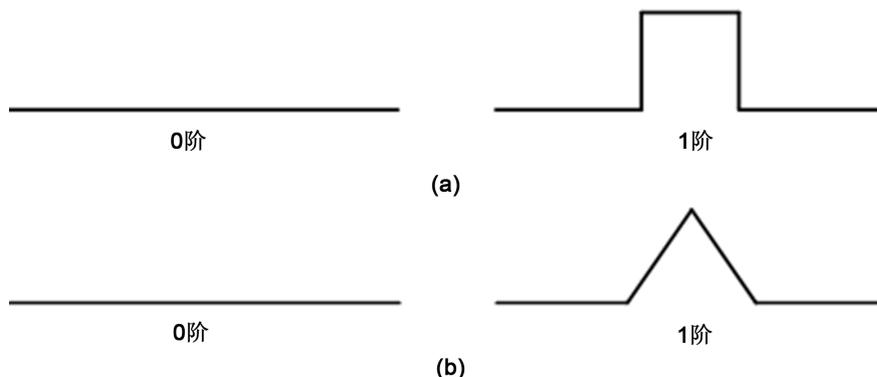


Figure 1. Fractal structure, (a) Minkowski; (b) Koch

图 1. 分形结构示意图，(a) 闵可夫斯基分形；(b) 科赫分形

天线的整体结构如图 2 所示。由于玻璃纤维环氧树脂覆铜板耐燃材料(FR-4)在日常制作中比较常见,并且易于实现,成本较低,为此,采用 FR-4 作为制作天线的介质材料,降低了天线的成本。在本文的天线设计中,采用微带贴片设计方案,其底层接地板和上层导体贴片均为铜箔,中间介质基片为 FR-4,其相对介电常数及损耗角正切分别为:  $\epsilon_r = 4.4, \tan \delta = 0.02$  [8]。为了实现天线的小型化,采用分形结构作为导体贴片的形状基础。

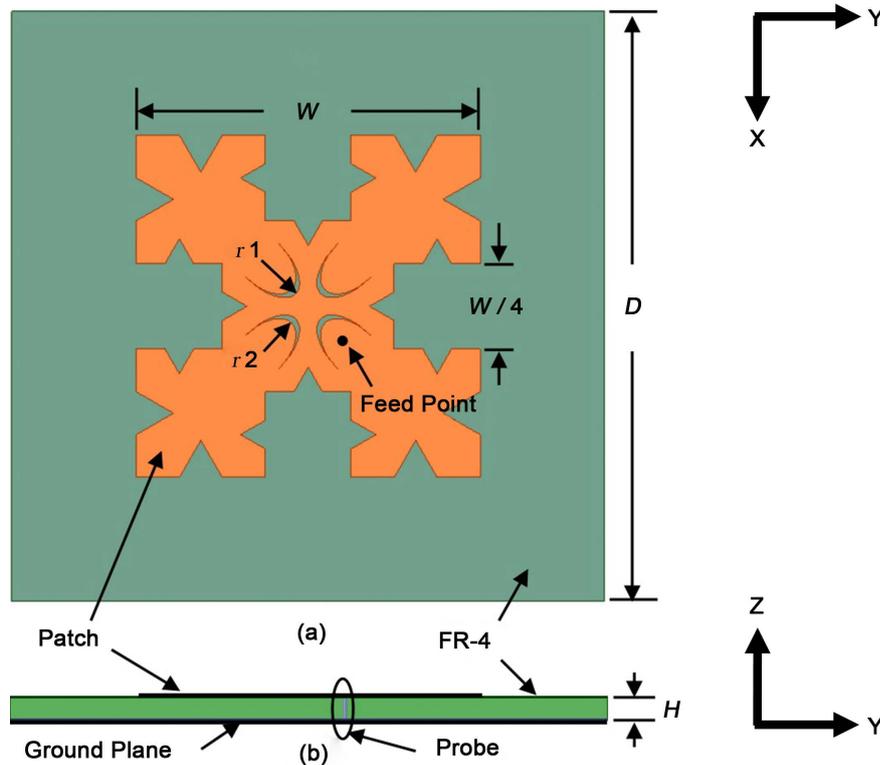
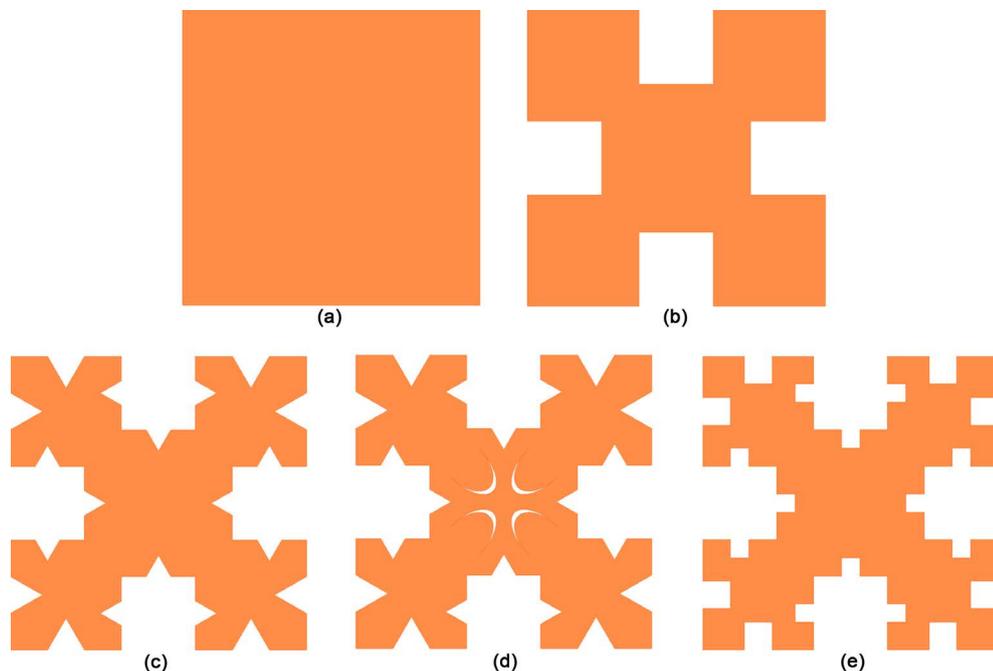


Figure 2. Schematic diagram of the designed antenna, (a) Top view; (b) Front view  
图 2. 天线结构示意图, (a) 俯视图; (b) 前视图

天线的设计过程如图 3(a)~(d)所示,图 3(a)为原始的微带贴片天线,其形状为正方形,该天线辐射体的边长可根据以下公式计算得出[9]:

$$W = c / (2f_r \sqrt{\epsilon_r}) \quad (1)$$

其中  $f_r$  为天线的工作频率,  $\epsilon_r$  为天线介质基板的相对介电常数,  $c$  为真空中的波速,  $W$  为天线正方形导体贴片的宽度。运用闵可夫斯基一阶分形,将正方形导体贴片各边的中心裁去 4 个小正方形,所得图形如图 3(b)所示,再将科赫一阶分形运用到剩余图形当中,即在每条边向内各裁去一个等边三角形,边长为原来边长的 1/3,如图 3(c)所示。为了降低天线的谐振频率,以进一步缩减天线的尺寸,并在剩余导体贴片的对角线位置刻出 4 个钩形槽,钩形槽由长轴不等、短轴相等、椭圆中心重合的两个半椭圆做差集而成,椭圆的长轴与短轴之比均为 2:1,最后所得的图形如图 3(d)所示,即目标天线的辐射体单元,其中 XOY 面第一象限处椭圆的中心坐标为  $(M, M)$ 。图 3 最后给出了二阶闵可夫斯基分形天线的辐射单元形状,如图 3(e)所示,该天线与设计过程中的各个天线的性能对比将在下一节中给出。天线的输入电阻设计为  $50 \Omega$ ,其馈电点在 XOY 面处的坐标为  $(L, L)$ ,当用  $50 \Omega$  同轴线馈电时,馈线能够与天线形成良好的阻抗匹配。

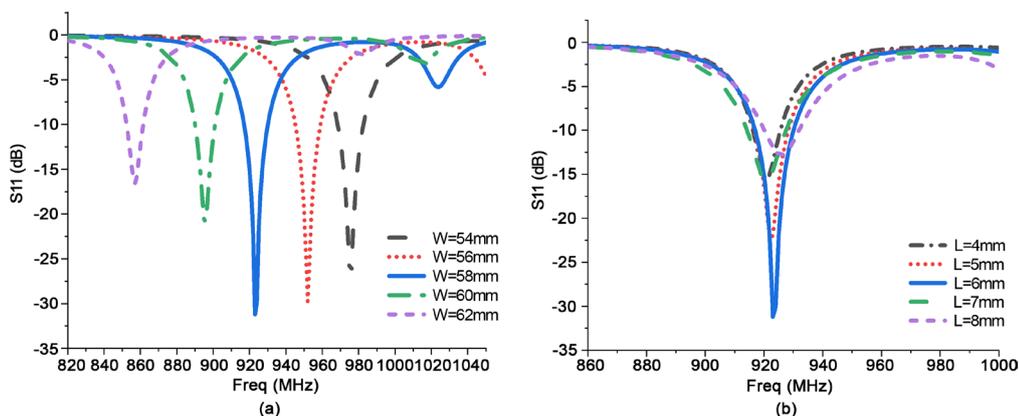


**Figure 3.** Schematic diagram of antenna structure design process, (a) Ant.1; (b) Ant.2; (c) Ant.3; (d) Ant.4; (e) Ant.5  
**图 3.** 天线结构设计过程示意图, (a) 天线 1; (b) 天线 2; (c) 天线 3; (d) 天线 4; (e) 天线 5

### 3. 天线仿真结果与实测数据对比分析

#### 3.1. 天线的结构参数优化分析

在天线结构的所有可变参数中, 天线的导体贴片的宽度及馈电点位置对天线的工作性能影响比较大, 因此借助三维电磁仿真软件 HFSS 对天线的导体贴片宽度  $W$  以及馈电点位置坐标变量  $L$  进行参数扫描, 在每一个扫描过程当中, 只有一个参数改变, 其他参数均保持不变, 参数扫描的结果如图 4 所示。从图 4(a)可以看出, 当固定  $L = 6 \text{ mm}$  时, 随着  $W$  的增大, 天线的谐振频率不断减小, 并且存在最佳的  $W$  使得天线工作在期望的频点,  $W$  的变化对天线工作频率的影响比较大, 因此改变  $W$  即可改变天线的工作频段。从图 4(b)可以看出, 当固定  $W = 58 \text{ mm}$  时, 随着  $L$  的增大, 天线匹配由差变好再变差, 也存在一个最佳的  $L$  值使得天线的匹配达到最好, 由此, 改变馈电点的位置可以改变天线的匹配度。



**Figure 4.** Scanning chart of antenna structural parameters, (a) Change  $W$  when  $L = 6 \text{ mm}$ ; (b) Change  $L$  when  $W = 58 \text{ mm}$   
**图 4.** 天线结构参数扫描图, (a) 固定  $L = 6 \text{ mm}$ , 只改变  $W$ ; (b) 固定  $W = 58 \text{ mm}$ , 只改变  $L$

将天线设计过程中几个阶段天线(图 3)的导体贴片宽度  $W$  均设为 58 mm, 在达到良好匹配时各天线的反射系数分布如图 5 所示, 图中的曲线依次对应图 3 中的天线。从图 5 可以看出, 在未加入任何修饰时(天线 1), 天线的谐振频率较高, 当引入一阶闵可夫斯基分形时(天线 2), 天线的谐振频率明显降低, 在此基础上, 引入一阶科赫分形(天线 3), 天线的谐振频率未发生明显的改变, 但天线的匹配度变得很好。天线 3 到天线 4 (目标天线)的变化是在天线 3 的基础上增加了 4 个钩形槽, 从图 5 中可以看出, 钩形槽的引入明显降低了天线的谐振频率。对比天线 3 和天线 5, 应用同一分形的二阶分形天线并未显著改变天线的谐振频率和匹配度, 因而同一分形阶数的提高并不能明显改变天线的性能。综上, 应用两种不同分形且搭配沟槽技术的使用, 可以有效减小天线尺寸以及改善阻抗匹配特性。

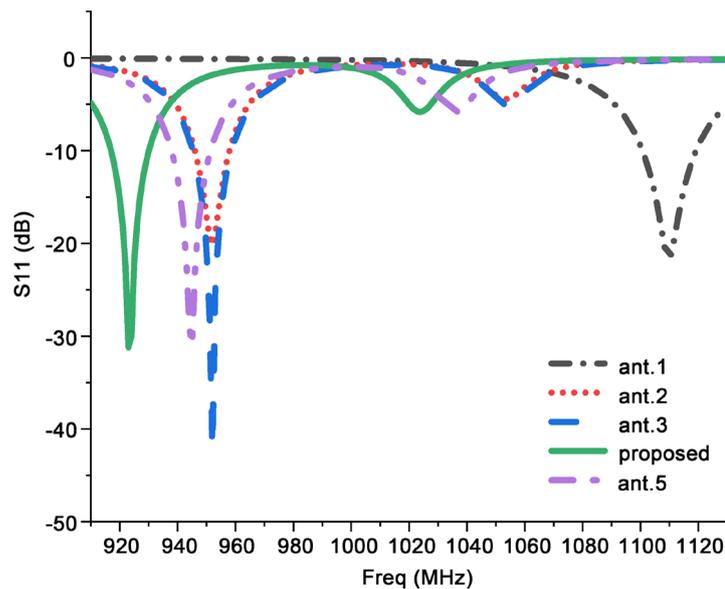


Figure 5. Reflection coefficient of each antenna in the design stage when fixed  $W = 58$  mm  
图 5. 固定  $W = 58$  mm 时, 设计阶段各类天线的反射系数

依照上面的仿真分析过程, 继续运用 HFSS 对天线进行优化分析, 进而确定天线其他结构参数的最优值。表 1 给出了经过优化设计的天线结构变量参数。

Table 1. Optimal value of antenna structural variables

表 1. 天线结构变量的最优值

变量	$D$	$W$	$H$	$r1$	$r2$	$L$	$M$
值/mm	100	58	1.6	8	7	6	11

### 3.2. 天线的制作及测试结果

天线由雕刻机加工制造, 其实物如图 6 所示。使用安捷伦 E5071C 矢量网络分析仪测试了实物天线的反射系数(S11)和电压驻波比(VSWR), 然后将仿真分析和测试数据做了对比, 如图 7 所示。从图 7 的对比结果可以看出, 实测的数据与仿真分析结果较吻合, 天线的实测阻抗带宽( $S11 < -10$  dB)为 11 MHz, 驻波比带宽( $VSWR < 2$ )为 13 MHz, 并且实测天线的工作频段能够覆盖期望的标准频段范围(920 MHz~925 MHz), 达到了预期的设计要求。图 7 中实测的天线反射系数曲线和驻波比曲线相比于仿真结果, 稍微向高频方向偏移, 这是由于加工误差造成, 属于合理范围, 可以加以改进处理。

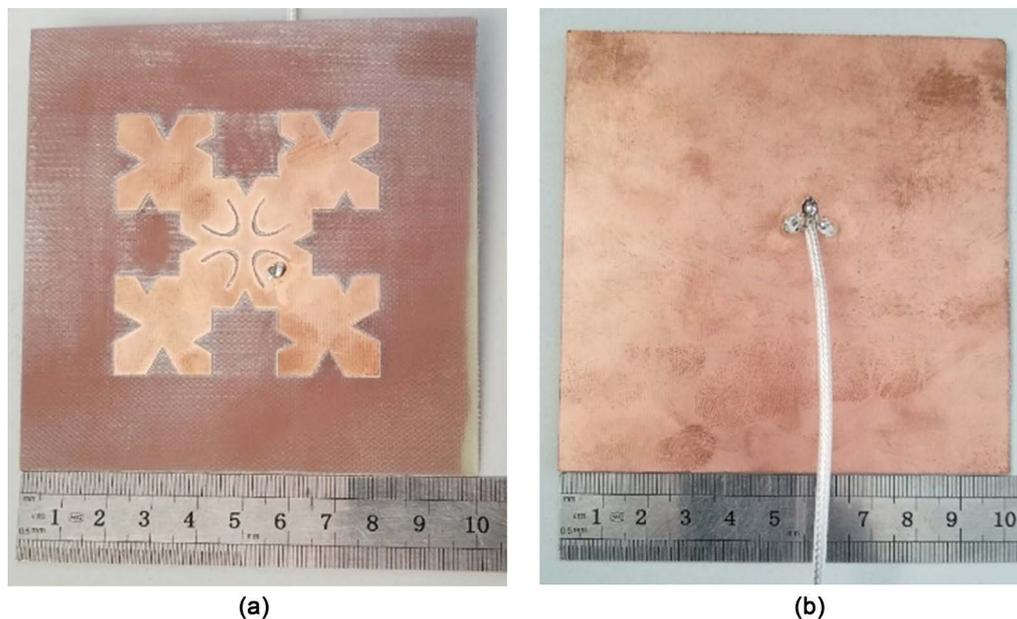


Figure 6. Picture of the proposed antenna, (a) Positive; (b) Negative  
图 6. 天线的实物图, (a) 正面; (b) 反面

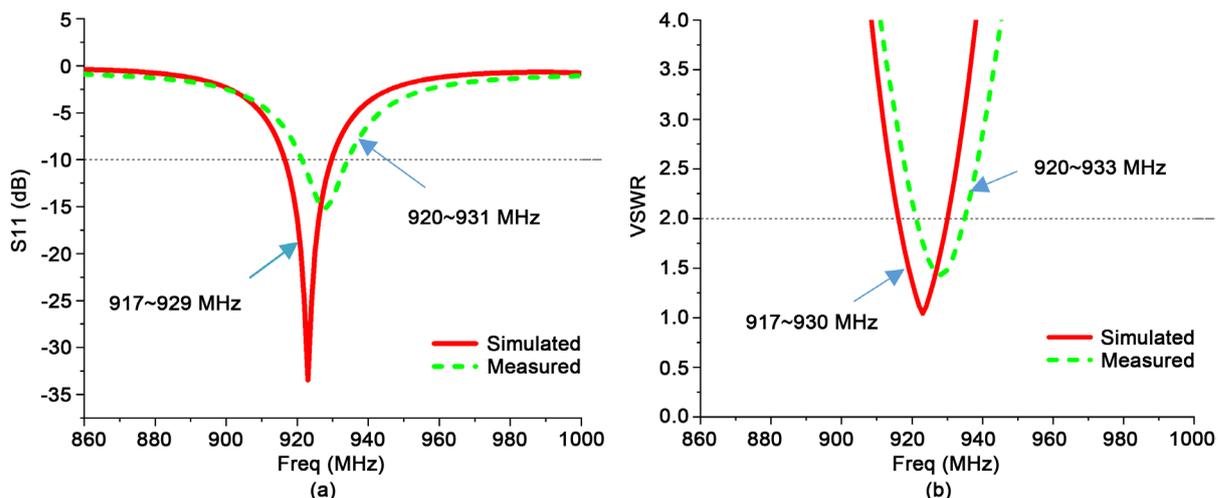
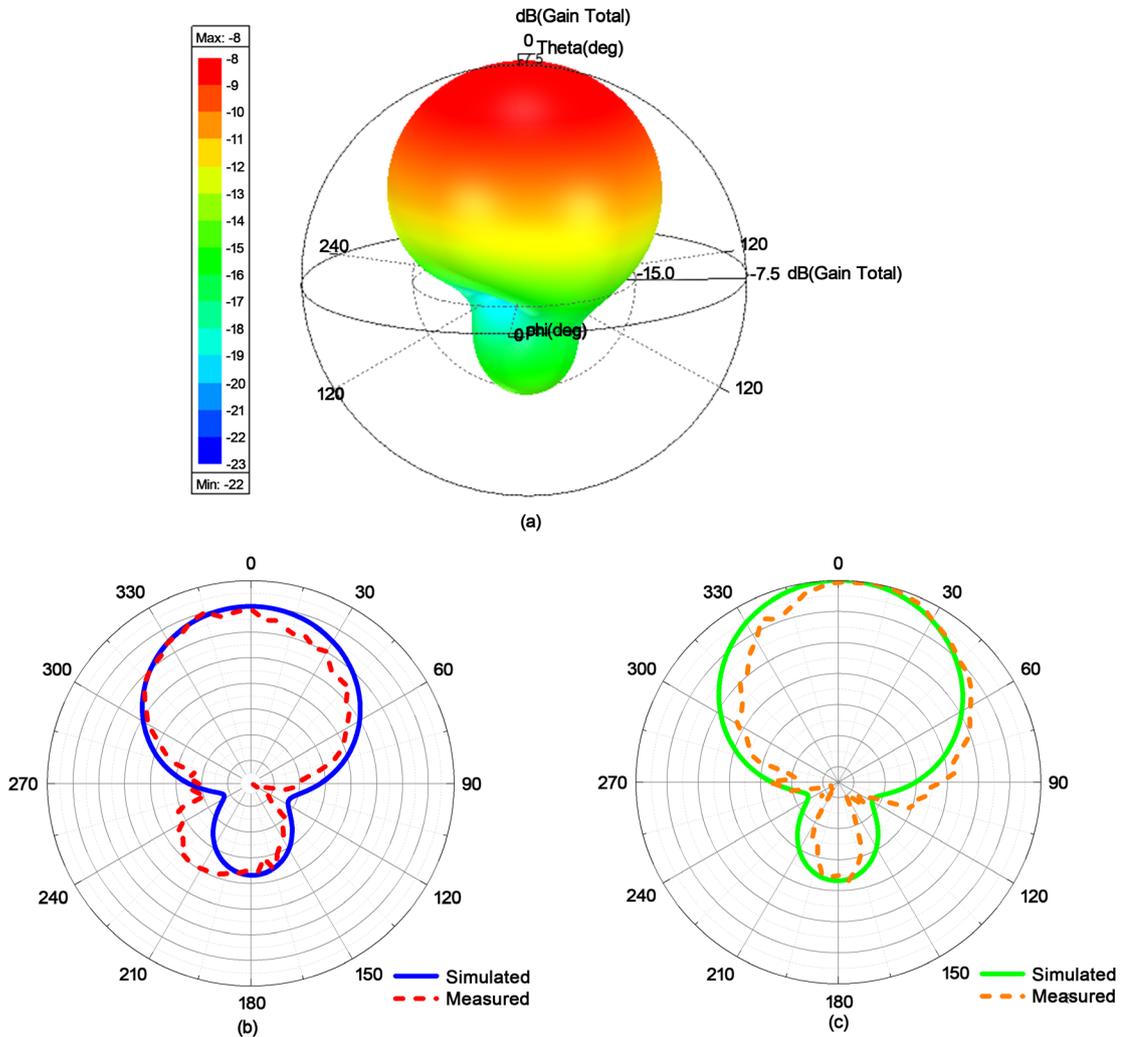


Figure 7. Comparison of the simulation results and the measurement data of the antenna, (a) Reflection coefficient; (b) VSWR  
图 7. 天线的仿真结果与实测数据对比图, (a) 反射系数; (b) 电压驻波比

在空旷地带测得的实际天线远场方向图与仿真结果的对比, 如图 8 所示。图中显示了天线的仿真三维方向图以及在 XOZ 和 YOZ 两个平面上的方向图分布。从图中结果可以看出, 实测方向图的整体趋势与仿真结果基本一致, 这也验证了仿真分析结果的正确性。图中所给出的仿真分析结果与实测数据均表明, 目标天线为属于半空间辐射类型的天线。在实际天线制作过程中, 由于不是采用精确的 CNC 加工, 其精度不高, 引入了较大的加工误差, 制作出来的天线缺乏一定的平整度, 并且在测试时天线的摆放位置不够精确等, 这些误差都将使得实际天线的测试数据与仿真结果存在一定的差异。从图 8(a)和图 8(b)两个面的方向图可以看出, 天线的实际方向图分布相比于仿真分析结果产生了一定的畸变和侧移, 并且在部分仰角处的差异较大, 这是由于加工和测试过程中所带来的误差所致, 属于合理的范围之内。相信通过提高加工工艺的精度, 即可降低加工误差, 由此可以提升天线的实测性能。



**Figure 8.** Antenna radiation pattern, (a) 3-D pattern; (a) XOZ plane; (b) YOZ plane  
**图 8.** 天线的远场方向图, (a) 三维方向图; (a) XOZ 面; (b) YOZ 面

最后, 将本文设计的天线与其他文献所设计的天线做一个对比, 相关参数的对比结果列于表 2。从表 2 可以看出, 本文设计的天线虽然在天线的功能上仍有所欠缺, 但具有小型化、低剖面、低成本、制作简单等优势, 能够准确覆盖所需工作频段, 而且易于集成到小型 RFID 设备, 是一款简单易用的 UHF 波段 RFID 阅读器天线。

**Table 2.** Comparison of parameters, advantages and disadvantages of the proposed antenna and other literature antennas  
**表 2.** 本文与其他文献天线的参数及优缺点对比

文献	天线尺寸/mm	工作频段/MHz	优点	缺点
[4]	70 × 70 × 25	880~990	超宽带	厚度较大, 不易集成
[5]	100 × 100 × 22.9	770~917	超宽带, 圆极化	双层结构, 馈电复杂
[6]	200 × 200 × 1.524	920~925、2400~2480	双频工作, 圆极化	尺寸较大
[7]	54 × 54 × 1.6	902~928	小型化, 圆极化	制作精度要求较高
本文	100 × 100 × 1.6	920~931	尺寸小, 易于集成	单频工作

## 4. 结论

本文研究并设计了一款基于分形结构的小型化 UHF RFID 阅读器天线, 通过闵可夫斯基和科赫两种分形应用, 有效缩减了天线的整体尺寸, 并且在天线内部增加了钩形槽, 降低了天线的谐振频率, 进一步减小了天线尺寸。天线的仿真分析和实测结果表明, 其工作频率范围能够准确地覆盖所期望的工作频段(920 MHz~925 MHz), 满足了 RFID 天线的主要设计指标要求。分形和开槽等技术的应用是实现 RFID 天线小型化的常用手段, 它们具有广阔的实际应用前景。当然对于如何运用这些小型化技术或创造新的技术, 给天线设计带来不同程度的性能改善, 仍然需要广大天线研究工作者做出不懈的努力和探索。

## 基金项目

国家自然科学基金重点项目(No.61631007)和中央高校基本科研业务费专项资金(兰州大学) (No. lzujbky-2018-K11)资助。

## 参考文献

- [1] Yao, Y., Liang, Y.S., Yu, J.S., *et al.* (2017) A Broadband Near-Field UHF RFID Reader Antenna with Low Far-Field Gain. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **65**, 4869-4874. <https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2731375>
- [2] Michel, A., Pino, M.R. and Nepa, P. (2017) Reconfigurable Modular Antenna for NF UHF RFID Smart Point Readers. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **65**, 498-506. <https://doi.org/10.1109/TAP.2016.2640140>
- [3] 吴江牛. 小型超宽带天线技术研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [4] Kim, J.H., Jeong, M.G., Bae, S.H., *et al.* (2017) A Printed Fan-Shaped Meandered Dipole Antenna with Mutual-Coupled Dual Resonance. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **16**, 3168-3171. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2766248>
- [5] Sun, J.S. and Wu, C.H. (2018) A Broadband Circularly Polarized Antenna of Square-Ring Patch for UHF RFID Reader Applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, **85**, 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2017.12.033>
- [6] Wongsakulphasatch, P. and Phongcharoenpanich, C. (2017) Dual-Band Circularly Polarized Flat Antenna with Plano Convex and Concave Slots for RFID Readers. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, **27**, e21141. <https://doi.org/10.1002/mmce.21141>
- [7] Farswan, A., Gautam, A.K., Kanaujia, B.K., *et al.* (2016) Design of Koch Fractal Circularly Polarized Antenna for Handheld UHF RFID Reader Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **64**, 771-775. <https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2505001>
- [8] Yao, Y., Cui C.X., Yu J.S., *et al.* (2017) A Meander Line UHF RFID Reader Antenna for Near-Field Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **65**, 82-91. <https://doi.org/10.1109/TAP.2016.2631084>
- [9] Balanis, C.A. (2016) *Antenna Theory: Analysis and Design*. 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 788-791.

### 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](mailto:hjwc@hanspub.org)