

用于手术刀的抗金属无源 RFID 标签天线设计^{*}

代孝俊 杜国宏 邓 伟 兰俊卿
(成都信息工程大学 电子工程学院 成都 610225)

摘 要: 为了加强对医疗器械的跟踪管理,尤其是对手术前后手术刀数量的有效监测,设计了一款可应用于手术刀的小型化超高频(UHF)抗金属射频识别(RFID)标签天线。该天线采用短路短截线结构,可嵌入金属或贴敷于金属表面。标签天线由辐射面、短路短截线、金属地面以及标签芯片构成,通过采用高介电常数介质基板达到天线小型化的目的。通过对天线辐射面、短路短截线及开口尺寸的调整,可实现对天线谐振频率以及天线特性阻抗的调节。天线总体尺寸为 66 mm×5 mm×0.8 mm。标签天线嵌入手术刀柄中最大读写距离为 1 m。根据仿真优化结果加工制作天线实物,该标签天线的测试数据与仿真结果比较吻合,测试结果表明该天线可应用于手术刀。

关键词: 超高频 小型化 抗金属 射频识别

Design of a Metal Skin Passive RFID Tag Antenna for Scalpel

DAI Xiao-jun, DU Guo-hong, DENG Wei, LAN Jun-qing

(Electronic Engineering College, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In order to track the medical equipment effectively, especially to monitor the scalpel's quantity before and after operation, a miniature ultra-high-frequency (UHF) metal skin radio frequency identification (RFID) tag antenna is designed, which can be applied to the scalpel. The antenna has a short-ended stub structure, and can be embedded in metal or applied to the metal surface. This tag antenna is composed of radiant surface, short-ended stub, metal ground and tag chip, the antenna miniaturization is achieved by using a high-dielectric constant substrate. The resonant frequency and impedance of the antenna can be adjusted by adjusting the radiation surface size, the short-ended stub and opening size of the antenna. The overall size of antenna is 66 mm×5 mm×0.8 mm. The maximum read range is 1 m when the tag antenna is embedded in the scalpel. Based on the simulation optimization results, we fabricate the antenna. The test data of the tag antenna matches the simulation results, the measured results of the antenna show that the antenna can be applied to the scalpels.

Key words: UHF, miniaturization, metal skin, radio frequency identification

引 言

超高频(UHF)(840~960 MHz)射频识别(RFID)技术通过无线通信方式可快速、远距离识别特定目标并读写相关数据,能对目标物进行信息智能化、实时化的识别管理,在物流管理、身份识别、门禁控制等领域得到了广泛应用^[1-2]。

无源 RFID 系统主要由阅读器、应答器、信息管理系统组成^[3-5],整个系统的通信方式是通过电子标签与阅读器天线发射的电磁波耦合方式进行通信,标签在改变负载阻抗的同时也调节自身的 RCS,实现与阅读器之间的通信。其中,应答器由标签芯片

和天线构成,应答器与阅读器识别和捕获信息,信息管理系统对获取的数据进行处理^[6-7]。

目前随着 RFID 标签天线在生活中日益广泛应用,多种环境条件对 RFID 标签天线提出了更为严苛的要求。用于金属环境时,外界金属会对标签天线的谐振频率、天线输入阻抗以及辐射特性产生显著影响,从而需要设计的标签天线具有抗金属的作用。而在某些特定的小尺寸金属工具、器械中,为了对这类物品进行有效的管理监测,要求所设计的 RFID 标签天线小型化。

由于手术刀使用环境特殊,本文设计了一款 UHF RFID 抗金属标签天线,嵌入手术刀刀柄中,使

* 收稿日期: 2018-09-07; 修回日期: 2018-11-06

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2017GZ0432); 国家自然科学基金(61640008)

天线与手术刀成为一体。文中采用高介电常数基板与短路短截线的天线结构实现天线的小型化、抗金属的功能特点。通过调整短路短截线尺寸与辐射面开口尺寸实现对天线的谐振频率与输入阻抗的调节,使嵌入手术刀的标签天线可以被阅读器有效识别。

1 天线设计

1.1 标签识别距离分析

识别距离是标签天线的重要指标之一。对于标签天线,标签芯片存在激活阈值能量 P_{th} (也就是标签的读取灵敏度),当 $P_a \geq P_{th}$ 时,标签芯片被激活。激活后标签天线的最大读取距离我们可以根据式 (1) 弗林斯传输公式^[8-10] (Friis Transmission Formula)

$$\frac{P_a}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (1)$$

及式 (2) 功率传输系数关系

$$P_{th} = \tau P_a \quad (2)$$

式 (2) 中

$$\tau = 1 - |\Gamma_m|^2 \quad (3)$$

$$\Gamma_m = \frac{Z_c - Z_a^*}{Z_c + Z_a} \quad (4)$$

得到标签的最大读取距离^[8]

$$r_{tag} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \tau}{P_{th}}} \quad (5)$$

式 (1) 中, P_a 为标签天线接收功率, P_t 为阅读器发射功率, G_t 为阅读器天线增益, G_r 为标签天线增益, λ 为自由空间波长, r 为标签天线与阅读器天线之间的距离。

1.2 小型化抗金属标签天线仿真设计

微带天线的小型化常用以下方法: 1) 选用具有较高介电常数或较高磁导率的介质基板; 2) 弯曲折叠技术, 例如蛇形线方法, 螺旋方法; 3) 分形技术, 利用分形曲线的重要属性, 用无限长的曲线有效填充有限大的空间, 实现天线的小型化; 4) 加载技术, 例如集总加载技术, 分布电阻加载技术, 铁氧体或介质加载技术; 5) 开槽技术, 包括天线表面开槽和地板开槽, 这种技术通过改变电流路径从而实现天线的小型化; 6) 电磁带隙 (EBG) 技术, 利用 EBG 同相反射的特点, 做出剖面尺寸小的天线。而对于抗金属标签天线的设计^[2,11-12], 我们常常采取的方法有: 1) 通过调整标签天线与金属表面的距离, 减小金属

边界对天线性能的影响; 2) 采用吸波材料, 将吸波材料置于标签天线与金属板之间; 3) 选取 EBG 结构的介质板, 采取微带天线结构, 将金属面作为天线的接地平面。

本文设计的微带天线采用相对介电常数较高的基板, 仿真模型如图 1 所示, 该模型由天线、手术刀以及金属平面组成。天线嵌入在一把手术刀柄中, 手术刀放置于金属平面上, 天线由天线辐射面、短路短截线、金属地面以及标签芯片组成, 天线结构如图 2 所示。天线印刷在 $66 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的介质板 ($\varepsilon_r = 9.6$, $\tan\delta = 0.001$) 上, 基板厚度为 0.8 mm , 天线馈电口长度为 1 mm , 天线辐射面与短路短截线边缘距离基板边缘 0.5 mm , 天线结构各参数值如表 1 所示。

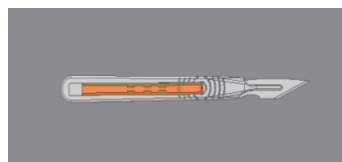


图 1 天线仿真模型图

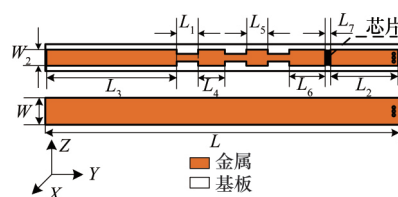


图 2 天线结构图

表 1 天线结构各参数值 mm

L	W	W ₁	W ₂	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇
66	5	0.8	3	4	12.6	24.3	5	4	6.7	1

本文中天线仿真设计基于有限元高频仿真软件, 通过对图 2 中天线结构各参数的调节优化, 使天线满足设计要求, 天线最终各物理尺寸如表 1 所示。该天线可以通过传输线模型进行分析, 传输线模型如图 3 所示。图 3 中 β 为波数, l_1 为天线辐射面长度, 其特征阻抗为 Z_0 , 辐射电阻为 R_r , l_2 为短路短截线长度, 其特征阻抗为 Z_0 , 短路负载 $Z_L = 0$, 因此标签天线的输入阻抗 Z_{in} 如式 (6) 所示, 它是辐射面阻抗与短路短截线阻抗的串联结果^[12]。天线辐射面边缘距离手术刀刀柄很小, 部分能量耦合至手术刀, 当从馈电端口加以激励时, 天线整体辐射面电流以及电场分布如图 4、图 5 所示。

$$Z_{in} = Z_0 \frac{R_r + jZ_0 \tan(\beta l_1)}{Z_0 + jR_r \tan(\beta l_1)} + jZ_0 \tan(\beta l_2) \quad (6)$$

由图 6、图 7 以及图 8 可以看出, 通过对参数 L_1 、 W_1 以及 L_3 的调整, 可以调节该天线的中心频

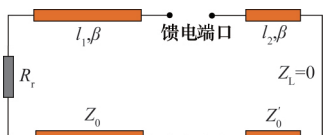


图3 标签天线传输线模型

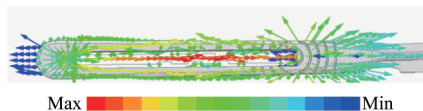


图4 手术刀及天线电流分布图

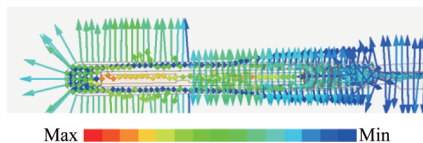


图5 手术刀及天线电场分布图

率。图6、图8表明,随着 L_1 或 L_3 的增加,天线的谐振频率降低。该天线标签芯片采用 Alien 公司的 H4 芯片,它在 920 MHz 处的特性阻抗为 $Z_c = 18 - j181$, 单位为 Ω 。图9与图10分别仿真了 W_1 与 L_2 对天线电抗以及电阻 Z_a 的影响,图9与图10表明,随着 W_1 和 L_2 的增加,天线的电抗与电阻减小。通过上述的仿真优化,天线的仿真方向图如图11所示。

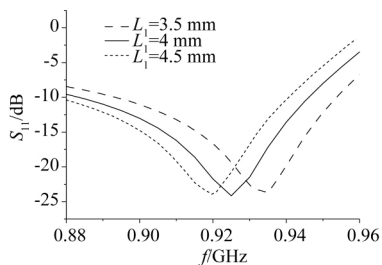
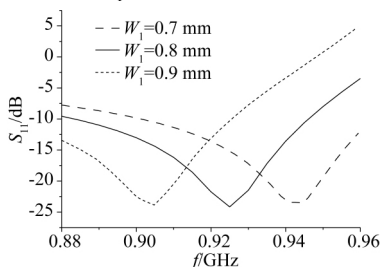
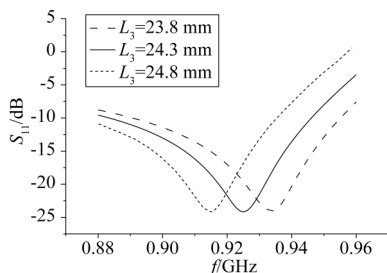
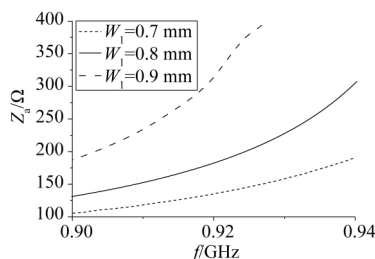
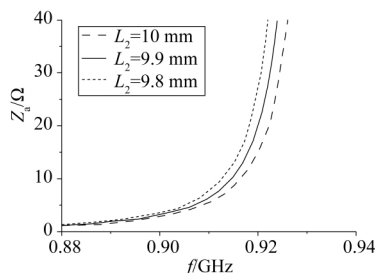
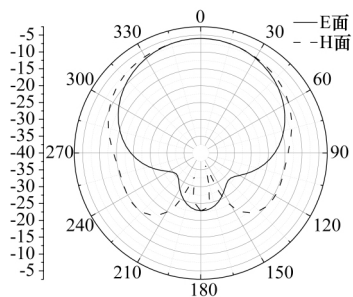
图6 L_1 对天线回波损耗影响图7 W_1 对天线回波损耗影响图8 L_3 对天线回波损耗影响图9 W_1 对天线输入电抗的影响图10 L_2 对天线输入电阻的影响

图11 920 MHz 处天线辐射方向图

2 小型化抗金属标签天线测试结果

本文设计的标签天线回波损耗仿真、测试结果如图12所示,从仿真结果可以看出天线 -10 dB 带宽为 880~940 MHz,覆盖了 UHF (840~960 MHz) 频段的绝大部分。

从图12的测试结果与仿真结果对比可以看出,中心频率虽然向低端有少许偏移,但仿真与测试结果基本一致。

将所加工的标签天线嵌入手术刀柄中,如图13所示,采用 Alien A9028L30NF 圆极化阅读器天线测试,该天线最大增益 8 dBi,阅读器采用 Impinj 公司的 Speedway Revolution,阅读器射频通道发射功率为 21 dBm。标签天线测试场景如图14所示,嵌入标签天线的手术刀放在手术盘中,手术刀正对天线,两柄手术刀并排放置,通过式(5)计算可得,标签的最大理论读取距离为 1.2 m,实际测试读取距离为 1 m。由于天线回波损耗测试采用同轴双端差分测试法,导致实际测试结果与仿真结果存在一定的误差。

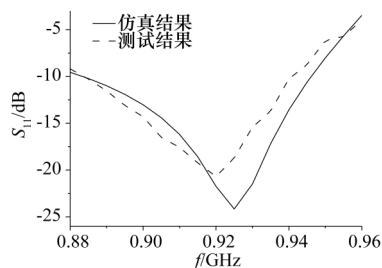


图 12 天线回波损耗仿真与测试结果图



图 13 RFID 标签天线实物图



图 14 测试场景图

3 结论

本文介绍了 RFID 读取距离的基本原理以及天线小型化的一般方法,设计了一种可嵌入手术刀柄的抗金属 UHF 无源标签天线,优化了天线参数,最终天线尺寸为 $66\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 。生活中部分小型金属物体采用标签天线方式的智能管理其监测难度较高,而本文中的天线结构可嵌入金属或贴敷于金属表面,结合阅读器系统可有效监测管理。测试结果表明,该标签天线读写距离为 1 m ,可在医疗器械等工具管理中实现抗金属、小型化的应用。

参 考 文 献

- (1) 段艳敏, 廖成, 夏小勇. 新型弯折偶极子 RFID 天线的小型化分析与设计[J]. 微波学报, 2010, 26(5): 64-67
Duan Y M, Liao C, Xiao X Y. Analysis and design of a new miniaturization bent dipole RFID antenna [J]. Journal of Microwaves, 2010, 26(5): 64-67
- (2) Du G H, Tang T, Deng Y. Dual-band metal skin UHF RFID tag antenna [J]. Electronics Letters, 2013, 49(14): 858-859
- (3) Saini H S, Thakur A, Kumar R, et al. A small patch antenna for UHF RFID reader devices [A]. International Conference on Advances in Computing [C], IEEE, 2016
- (4) Faudzi N M, Ali M T, Ismail I, et al. Compact microstrip patch UHF-RFID tag antenna for metal object [A]. 2014 IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications [C], 2014. 160-164
- (5) Chen M, Liu J, Chen S, et al. DBF: a general framework for anomaly detection in RFID systems [A]. INFOCOM 2017 IEEE Conference on Computer Communications [C], 2017. 1-9
- (6) 莫凌飞. 超高频射频识别抗金属标签研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009
Mo L F. Research on UHF RFID anti-metal tag [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009
- (7) Ukkonen L, Sydanheimo L, Kivikoski M. Effects of metallic plate size on the performance of microstrip patch-type tag antennas for passive RFID [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2005, 4(1): 410-413
- (8) Rao K V S, Nikitin P V, Lam S F. Impedance matching concepts in RFID transponder design [A]. 2005 Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies [C], 2005. 39-42
- (9) Liorente-Romano S, Garca-Lamperez A, Sarkar T K, et al. An exposition on the choice of the proper S parameters in characterizing devices including transmission lines with complex reference impedances and a general methodology for computing them [J]. IEEE Antennas & Propagation Magazine, 2013, 55(4): 94-112
- (10) 章伟. UHF RFID 标签天线设计、仿真及实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012
Zhang W. Design, simulation and practice of UHF RFID tag antenna [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012
- (11) 唐涛, 廖成, 杜国宏. 小型化 UHF 弯折偶极子抗金属 RFID 标签天线的设计[J]. 微波学报, 2012, 28(4): 35-38
Tang T, Liao C, Du G H. Design of a miniaturized UHF bent dipole metal RFID tag antenna [J]. Journal of Microwaves, 2012, 28(4): 35-38
- (12) Mo L, Qin C. Planar UHF RFID tag antenna with open stub feed for metallic objects [J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2010, 58(9): 3037-3043

代孝俊 男, 1993 年生, 硕士生。主要研究方向: 微波毫米波电路与系统。

E-mail: dai18380448452@163.com

杜国宏(通信作者) 女, 1977 年生, 博士, 教授。主要研究方向: 天线与电波传播, 电磁超材料。

E-mail: dghong@cuit.edu.cn

邓伟 男, 1994 年生, 硕士生。主要研究方向: 微波毫米波电路与系统。

E-mail: 1374025973@qq.com

兰俊卿 男, 1983 年生, 博士, 讲师。主要研究方向: 生物电磁学, 微波多物理场。