

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.01.013

引用格式:韩涛,ZHANG Mingjun,王红成,等.一种小型 UHF RFID 抗金属标签天线的设计[J].电讯技术,2016,56(1):71-75. [HAN Tao, ZHANG Mingjun,WANG Hongcheng,et al. Design of a miniaturized UHF RFID anti-metal tag antenna[J]. Telecommunication Engineering, 2016,56(1):71-75.]

一种小型 UHF RFID 抗金属标签天线的设计*

韩 涛**¹,ZHANG Mingjun²,王红成¹,李秀平¹

(1. 东莞理工学院 电子工程学院,广东 东莞 523808;2. 法国国立工艺学院 电子自动化与系统学院,法国 巴黎 75003)

摘 要:针对射频识别标签天线小型化、抗金属环境的实际需求,提出了一种可应用于金属环境的超高频射频识别标签天线。通过在矩形贴片上开槽来实现小型化,天线总尺寸为 56 mm×50 mm×1.6 mm。通过改变槽的尺寸调节标签天线的输入阻抗,结合等效电路图分析抗金属标签天线的设计过程,从而方便地实现与标签芯片的共轭匹配。实验结果表明,实测和仿真结果比较吻合,标签阻抗匹配良好,实测最大读取距离达 3.1 m。与其他标签天线相比,该天线具有结构简单、成本低、易于实现和读取距离远等优势。

关键词:射频识别;抗金属标签天线;超高频;共轭匹配

中图分类号:TN823 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2016)01-0071-05

Design of a Miniaturized UHF RFID Anti-metal Tag Antenna

HAN Tao¹,ZHANG Mingjun²,WANG Hongcheng¹,LI Xiuping¹

(1. College of Electronic Engineering,Dongguan University of Technology,Dongguan 523808,China;2. Le département Electronique Automatique et Systèmes,Conservatoire National des Arts et Métiers,Paris 75003,France)

Abstract:According to the actual demand of miniaturization anti-metal environment for the radio frequency identification(RFID) tag antenna,an ultra high frequency(UHF) RFID tag antenna for metallic objects is presented. By etching slots on the rectangular patch,the proposed antenna is miniaturized to a total size of 56 mm×50 mm×1.6 mm. The input impedance can be adjusted effectively by changing the sizes of the slots,the equivalent circuit model is given out to explicate how this antenna functions,then the impedance match between the antenna and the tag chip can be tuned conveniently. As an experimental demonstration,the measured curve of the input impedance is basically the same as the simulated and the reading distance reaches 3.1 m. The tag antenna has the advantages of simple structure,low cost,easy fabrication and long reading distance.

Key words:radio frequency identification(RFID);anti-metal tag antenna;ultra-high frequency;impedance match

1 引 言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术既是识别技术,也是短程通信技术,还是二次雷达、电子标签类似雷达的应答器。它通过射

频信号采集和识别目标物的相关信息,以非接触识别和识别速率快等优点而被广泛应用,同时也是物联网传感层里最主要的成员。超高频(Ultra High Frequency,UHF)RFID 技术由于具有识别距离远、

* 收稿日期:2015-09-29;修回日期:2015-12-30 Received date:2015-09-29;Revised date:2015-12-30
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61308019);广东省自然科学基金资助项目(S2013010013261)
Foundation Item:The National Natural Science Foundation of China(No. 61308019);The Natural Science Foundation of Guangdong Province (S2013010013261)

** 通信作者:hant@dgut.edu.cn Corresponding author:hant@dgut.edu.cn

标签成本低等优点,因而特别适合应用于物流和供应链管理。

物联网的管理对象包罗万象,其形状、大小、表面材质、应用环境等各不相同^[1]。当 RFID 电子标签被贴于具有金属表面的对象(如汽车车牌、油井钻头)时,标签天线的方向特性、阻抗特性以及谐振频率都会发生改变^[2],从而导致标签天线增益的迅速衰减^[3]。

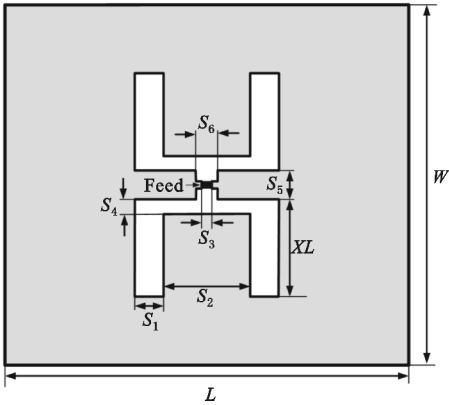
对于普通超高频标签,入射电磁波遇到金属面后发生反射,且反射波与入射波之间存在 180° 的相位差,会严重衰减电磁波的强度,标签的识别距离会大大降低,标签天线增益会随天线与金属接地板之间距离的增加而改善^[4]。当两者的距离介于 $0.05\lambda_0 \sim 0.1\lambda_0$ 时,标签天线增益可恢复到可接受程度;当两者的距离介于 $0.1\lambda_0 \sim 0.25\lambda_0$ 时,标签天线增益增势变缓,基本趋于稳定^[4]。决定超高频 RFID 系统读取距离的关键因素主要有标签天线的增益、标签天线与芯片之间的阻抗匹配、标签芯片整流电路的效率以及标签芯片的功耗^[5]。抗金属标签天线按照类型分,有微带天线、类偶极子天线、高阻抗表面天线等^[6];按照馈电方式分,有直接馈电、容性耦合馈电和感性耦合馈电等^[7];按照极化方式分,有线极化(双极化)、圆极化等^[8];按照工作原理分,有驻波天线和行波天线;按照单元数分,有单天线和阵列天线^[9]。各种类型天线的特性不同,利弊各异,而抗金属标签天线的设计目的是在金属表面具有较为稳定的输入阻抗、较宽的带宽和较高增益的天线结构。

2 天线结构设计

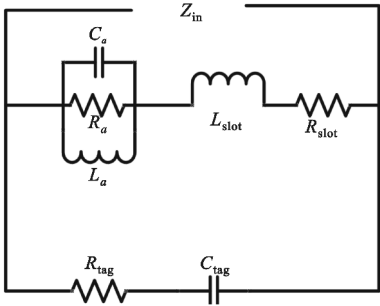
在超高频 RFID 抗金属标签天线的设计中主要通过使用高介电常数的基板(如 AMC 地板)或者利用地板的反射特性设计天线(如 PIFA)来抑制(或利用)金属地板的影响^[10-11]。为了增加抗金属标签天线的增益,本文所提出的标签天线有效地利用了金属地板的反射特性,但本文移除了 PIFA 天线中的短路通路,因此降低了标签天线制造的复杂性。与此同时,本文采用厚度 h 为 1.6 mm、相对介电常数 ϵ_r 为 4.4、损耗角正切 $\tan\sigma$ 为 0.01 的 FR4 材料作为天线的基板。通过这种设置,可以在天线成本、尺寸及性能上找到一个较好的折衷。

所设计的抗金属标签天线如图 1(a)所示,天线总尺寸($L \times W \times h$)为 56 mm×50 mm×1.6 mm。在 FR4 基板覆盖一个与基板尺寸相同的矩形铜贴片,

在贴片的上方相距 S_5 处分别开了 U 型槽,两个 U 型槽在其中心上通过一个长为 S_5 、宽为 S_6 的馈电槽相连,馈电点(标签芯片)位于该馈电槽的中心位置(矩形贴片的中心)。通过这种配置,可以增加标签天线的电流路径长度,从而有效地减少抗金属标签天线的尺寸。本文通过调节 U 型槽的宽度 S_1 和槽长 XL 来调节天线的阻抗,最终标签天线的阻抗和芯片的阻抗共轭相近,就认为标签天线和芯片匹配。抗金属标签天线的等效电路图如图 1(b)所示。抗金属标签天线结构是在矩形辐射贴片的基础上进行开缝操作,通过在贴片上开槽,切断了原先的表面电流路径,使电流绕槽边曲折流过而路径变长,在天线等效电路中相当于引入了级联电感 L_{slot} ,使得天线输入阻抗呈现较大的感性电抗,可与阻抗呈现较大容性感抗的标签芯片 C_{tag} 达到良好的共轭匹配。而且通过改变槽的尺寸,可以方便地调节天线的输入阻抗 Z_{in} ,从而有利于天线跟阻抗不同的标签芯片进行匹配。馈电点选择在贴片天线中心,在天线中心对称地方进行馈电,可以确保天线方向图的对称性以及全向性,这样当辐射片处在金属板表面的时候也可以保持方向图的良好辐射。



(a) 抗金属标签天线的结构



(b) 等效电路图

图 1 抗金属天线结构图和等效电路图
Fig. 1 Geometry of the anti-metal tag antenna and equivalent circuit diagram

3 天线仿真分析

为了验证设计的正确性,首先在 Ansoft HFSS 13.0 仿真平台上对所提供的天线进行模型建立和仿真优化。将所提出的天线直接放置在一个尺寸为 500 mm×500 mm 的有限地板上以模拟金属环境对标签天线的影响。标签芯片采用 Alien 公司的 Higgs3 芯片,其典型接收灵敏度为 -20 dBm,在 922.5 MHz 处的输入阻抗为 24-j207 Ω。图 2 给出了矩形贴片上 U 型槽 S_1 对标签天线输入阻抗的影响,可以看出,随着 U 型槽 S_1 的增加,标签天线阻抗实部和虚部都在增加。

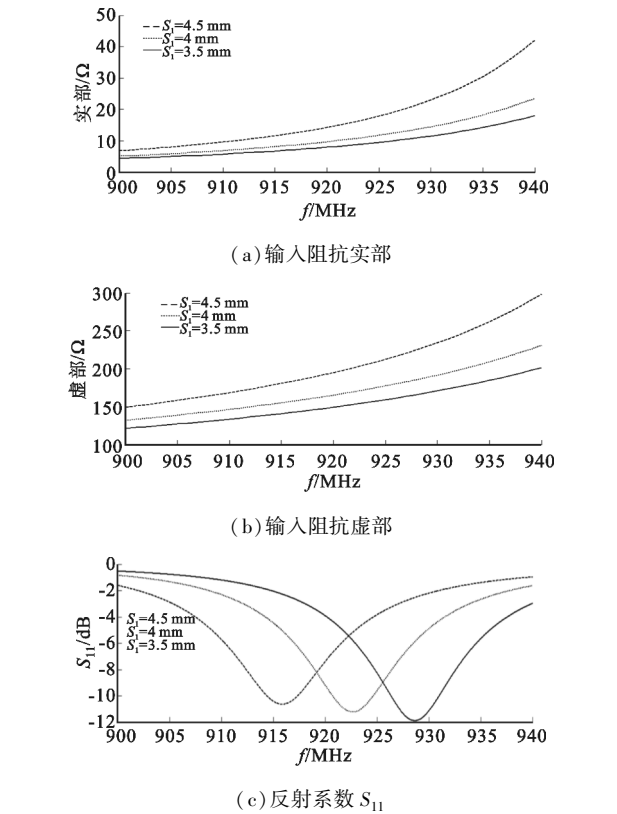


图 2 S_1 对天线阻抗的影响

Fig. 2 Impact of S_1 on antenna impedance

图 3 给出了矩形贴片上 U 型槽 XL 对标签天线输入阻抗的影响,可以看到,所提出标签天线输入阻抗的实部和虚部随着 XL 的增加而增大。也就是说,随着贴片上槽宽和槽长的增加,天线的谐振频率会向低频方向移动。特别地,当矩形上的 U 型槽 $S_1 = 4$ mm 及槽长 $XL = 13$ mm 时,标签天线在 922.5 MHz 频率处谐振,此时标签天线的 S_{11} 小于 -15 dB,这意味着标签天线与芯片在此频点上能够达到良好的共轭匹配。在这种情况下,抗金属标签天线的 3 dB 带宽达到 23 MHz(913 ~ 936 MHz),能有效覆盖中国超高频规定的 920 ~ 925 MHz 这一频率范围。

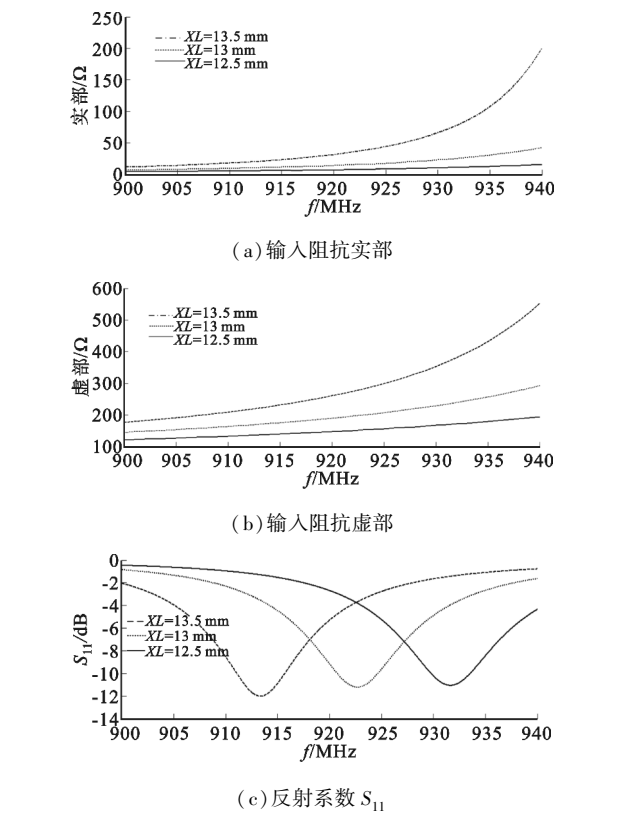


图 3 XL 对天线阻抗的影响

Fig. 3 Impact of XL on antenna impedance

标签的阅读距离是系统最重要的评估指标之一,根据自由空间中电波的传播损耗,阅读距离的评估公式^[12]可表示为

$$r_{\max} = \frac{\lambda_0}{4\pi\sqrt{P_{\text{EIRP}} G_{\text{real}}}} \sqrt{\frac{P_{\text{EIRP}} G_{\text{real}}}{P_{\text{chip}} \rho}} \quad (1)$$

式中: P_{EIRP} 为阅读器天线的等效全向发射功率; P_{chip} 为标签芯片的最小启动功率(阅读灵敏度); ρ 为标签天线与阅读器天线之间的极化匹配系数;而 G_{real} 则为标签天线的实际增益,可表示为 $G_{\text{real}} = G_{\text{tag}} \tau$,其中 G_{tag} 为标签天线的增益, τ 为标签天线与芯片之间的功率传输系数,可写为

$$\tau = \frac{4R_{\text{ant}}R_{\text{chip}}}{(R_{\text{ant}}+R_{\text{chip}})^2 + (X_{\text{ant}}+X_{\text{chip}})^2} \quad (2)$$

也就是说,当极化匹配和阻抗匹配都满足时,标签芯片所接收到功率达到最大。由于识别效率的要求,一般会采用圆极化的阅读器天线,这样在标签天线与阅读器天线之间存在一个 3 dB 的极化损耗。

图 4 给出了所设计标签天线在阅读器发送 3.3 W 等效功率下的增益。在 922.5 MHz 频率处,标签天线与芯片达到良好的共轭匹配状态,标签天线的仿真增益达到其最大值 -3 dBi。与此同时,利用阅读距离评估公式(1)计算得到的最大阅读距离为 3.45 m。图 5 给出了天线在 922.5 MHz 的 2D 方向

图,可以看出,在 E 平面,天线接近全向,而在 H 平面,天线具有一定的方向性,但其波瓣依然比较宽,这有助于标签在大的空间角内被迅速识别。

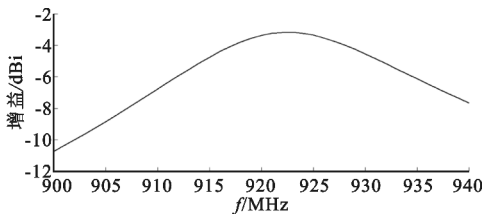


图 4 抗金属标签天线的增益
Fig. 4 Gain of the anti-metal tag antenna

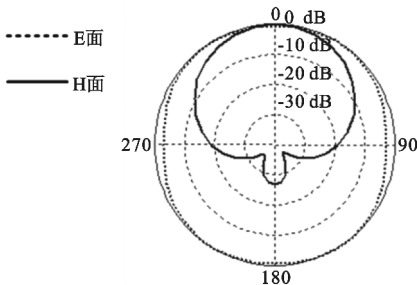


图 5 天线的 2D 方向图
Fig. 5 2D radiation pattern of the antenna

4 天线测试结果

根据上述优化设计的天线尺寸,在 FR4 环氧树脂基板上实际制作了 RFID 标签天线及相应的测试夹具,如图 6 所示。阻抗测试采用文献[2]提出的基于 S 参数的双端口矢量分析仪测量方法。使用矢量网络分析仪 (Agilent E5071C) 在暗室中对实际制作的天线进行了测试,在测试过程中把天线紧挨金属表面,用安捷伦网络分析仪进行测试,仿真和测试结果如图 7 所示,可见,两者吻合良好。天线在 922.5 MHz 的仿真和测试输入阻抗分别为 $18+j196\ \Omega$ 和 $29+j210\ \Omega$, Alien Higgs3 芯片的阻抗为 $24-j207\ \Omega$,共轭阻抗为 $24+j207\ \Omega$,这表明天线与 Alien Higgs3 芯片工作在 922.5 MHz 时的仿真和测试结果都实现了良好的共轭阻抗匹配。

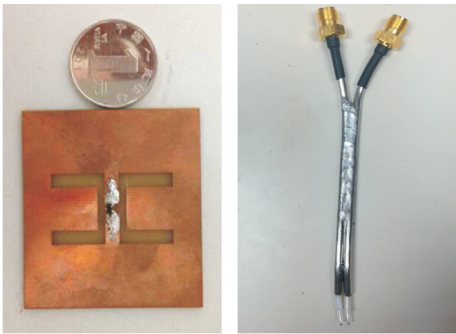
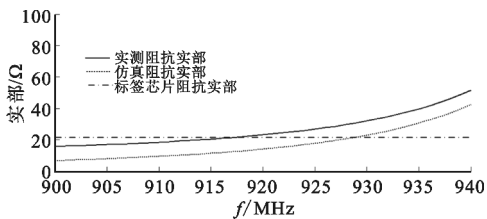
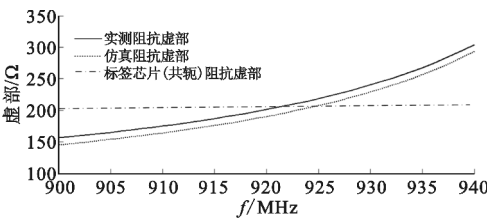


图 6 加工天线和测试用夹具照片
Fig. 6 Photograph of the fabricated antenna and fixture prototype



(a) 阻抗实部



(b) 阻抗虚部

图 7 天线阻抗测试值与仿真值
Fig. 7 Measured and simulated impedance of the antenna

图 8 给出了该电子标签天线在微波暗室的最佳读取距离。测试设备采用跳频工作方式,使用增益为 8 dBi 的圆极化天线作为收发共用天线,测试设备输出功率设为 27 dBm,即辐射功率为 35 dBm(约为 3.3 W EIRP)。按照公式(1)计算的最大读取距离为 3.45 m,在暗室里测试到的最佳读取距离达到 3.1 m。主要原因在于测试时使用的测试夹具是利用两条同轴馈线拼接而成,同轴馈线的阻值为 $50\ \Omega$,而设计的天线不是基于 $50\ \Omega$ 的匹配设计,因此产生较大的损耗。还有就是测试环境和阅读器的因素导致实际测试的读取距离和理论最大读取距离存在一定偏差,从而实际测试的读取距离和理论最大读取距离存在一定偏差。但是,该结果足以满足现有对超高频标签天线的技术要求。因此,与一般的抗金属标签天线相比^[13],本文所提出的抗金属标签天线在增益、成本及尺寸上具有一定的优势。

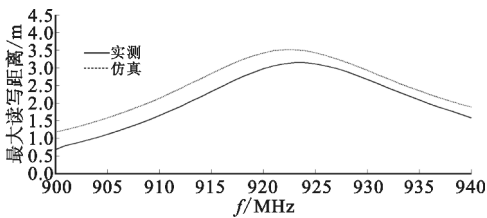


图 8 天线读取范围的仿真值与实测值
Fig. 8 Measured and simulated reading ranges

5 结 论

本文提出了一款小型的超高频射频识别抗金属

标签天线。所设计的天线在矩形贴片开了两个 U 型槽以实现小型化,改变槽的尺寸调节可以方便控制标签天线的输入阻抗,从而方便地实现与标签芯片的共轭匹配。该天线在 922.5 MHz 处获得其最大增益,实测阅读距离达到 3.1 m,与其他 UHF 无源抗金属 RFID 标签相比该标签尺寸更小,仅为 56 mm×50 mm×1.6 mm。本文设计的标签天线结构简单,适合应用于对阅读距离、标签成本要求较高的金属场合。

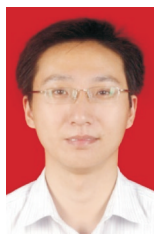
参考文献:

- [1] 章国庆,蒋开明,特木尔朝鲁. 无源超高频抗金属标签天线设计方法综述[J]. 电讯技术, 2015, 55(6): 704-712.
ZHANG Guoqing, JIANG Kaiming, TEMUER Chaolu. Overview of design methods for passive UHF anti-metal tag antennas[J]. Telecommunication Engineering, 2015, 55(6): 704-712. (in Chinese)
- [2] UKKONEN L, SYDÄNHEIMO L, KIVIKOSKI M. Effects of metallic plate size on the performance of microstrip patch-type tag antennas for passive RFID[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2005(4): 410-413.
- [3] SYDÄNHEIMO L, NUMMELA J, UKKONEN L, et al. Characterization of passive UHF RFID tag performance[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2008, 50(3): 207-212.
- [4] MO L, ZHANG H, ZHOU H. Analysis of dipole-like ultra high frequency RFID tags close to metallic surfaces[J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2009, 10(8): 1217-1222.
- [5] NILSSON H E, SIDEN J, OLSSON T, et al. Evaluation of a printed patch antenna for robust microwave RFID tags[J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2007, 1(3): 776-781.
- [6] GONGHO K, JUNHO Y. Dual-band long-range passive RFID tag antenna using an AMC ground plane[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(6): 2620-2626.
- [7] LIN K H, CHEN S L, MITTRA R. A capacitively coupling multifeed slot antenna for metallic RFID tag design[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010(9): 447-450.
- [8] CHEN H D, KUO S H, SIM C Y D, et al. Coupling-feed circularly polarized RFID tag antenna mountable on metallic surface[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(5): 2166-2174.
- [9] CHEN H D, TSAO Y H. Low-profile pifa array antennas

for UHF band RFID tags mountable on metallic objects[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010, 58(4): 1087-1092.

- [10] 赵犁, 郜笙, 虞俊俊. 金属介质对超高频 RFID 被动标签读取效能的影响及可用于金属表面标签的设计[J]. 工程设计学报, 2006, 13(6): 416-420.
ZHAO Li, GAO Sheng, YU Junjun. Research on impact of metal media on RFID passive tag and design method of metal-surface-usable RFID tag[J]. Journal of Engineering Design, 2006, 13(6): 416-420. (in Chinese)
- [11] CHEN S L, LIN K H. A slim RFID tag antenna design for metallic object applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008(7): 729-732.
- [12] MARROCCO G. The art of UHF RFID antenna design: impedance matching and size-reduction techniques[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2008, 50(1): 66-79.
- [13] LIN K H, CHEN S L, MITTRA R. A looped-bowtie RFID tag antenna design for metallic objects[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(2): 499-505.

作者简介:



韩涛(1981—),男,湖北武汉人,2011年于中山大学获博士学位,现为讲师,主要研究方向为物联网通信、天线理论与设计;

HAN Tao was born in Wuhan, Hubei Province, in 1981. He received the Ph. D. degree from Sun Yat-Sen University in 2011. He is now a lecturer. His research concerns Internet of Things communication, antenna theory and design.

Email: hant@dgut.edu.cn

ZHANG Mingjun(1975—),男,法国人,博士,副教授,主要研究方向为无线传感器网络;

ZHANG Mingjun was born in France, in 1975. He is now an associate professor with the Ph. D. degree. His research concerns wireless sensor network.

Email: ming-jun.zhang@cnam.fr

王红成(1981—),男,湖南衡阳人,博士,副教授,主要研究方向为光通信;

WANG Hongcheng was born in Hengyang, Hunan Province, in 1981. He is now an associate professor with the Ph. D. degree. His research concerns optical communication.

Email: wanghc@dgut.edu.cn

李秀平(1963—),男,贵州镇远人,博士,教授,主要研究方向为无线传感器网络。

LI Xiuping was born in Zhenyuan, Guizhou Province, in 1963. He is now a professor with the Ph. D. degree. His research concerns wireless sensor network.

Email: lixp@dgut.edu.cn