

基于 RCS 的无源超高频 RFID 标签识别距离研究 *

周钰书, 何怡刚

(湖南大学电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘要: 通过对无源超高频 RFID 系统中标签功率的获取、传递以及反射的研究, 提出了一种基于雷达散射截面 (RCS) 对标签识别距离进行计算的新方法。采用高频电磁场仿真软件 FEKO 对不同标签天线进行建模与仿真, 计算标签天线在不同负载下的 RCS; 再结合识别距离表达式计算该标签的最大识别距离, 与标签已有的实测参数进行比较, 计算结果与实际参数吻合。研究结果证实了该方法对研究标签识别性能具有很好的借鉴意义。

关键词: 射频识别; 标签; 识别距离; 雷达散射截面

中图分类号: TH302.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)12-4594-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.12.058

Analysis of identification distance of passive UHF RFID tag based on RCS

ZHOU Yu-shu, HE Yi-gang

(College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Through studying the power collected, transmitted and reflected by the tag in a passive ultra high frequency (UHF) RFID system, this paper presented a new method to calculate the identification distance of the tag based on radar cross section (RCS). By using the high frequency electromagnetic simulation software FEKO on modeling and simulating of the tag antenna to compute the RCS of the tag antenna with different loads, and combining with the expression of identification distance, found the maximum identification distance. Then compared to measured parameters, the results coincided with the actual parameters. It has provided good reference to the identification performance of the tag.

Key words: RFID (radio frequency identification); tag; identification distance; RCS

近年来, 无源超高频 RFID 系统越来越成为人们关注的焦点^[1]。与工作频率为 13.56 MHz 的无源 RFID 系统比较起来, 使用 900 MHz 频段的无源 RFID 系统有更多的优点, 如识别距离远、抗干扰能力强、制造成本低等。然而, 由于标签设计水平的局限和各种未知干扰源的广泛存在, 目前制约 900 MHz 频段的无源 RFID 标签应用的问题较多, 主要体现在识别距离不够和相对较高的误码率。而误码率往往会随着标签与阅读器距离的增加呈指数上升, 故仍可以归结为实际有效的识别距离减小。

两个决定无源 RFID 标签识别距离的至关重要的因素是标签芯片接收到的功率和阅读器所能接收到的散射信号的强度^[2]。在很多情况下, 标签芯片所能接收到的功率大小比阅读器接收到的散射信号的强度对识别距离的影响更大, 因为通常来说阅读器的灵敏度要比标签的灵敏度高一些。因此, 标签天线的好坏就决定了标签芯片所能接收到功率的大小。

1 无源超高频系统及标签的工作原理

在阅读器单元与标签之间, 无源超高频 RFID 系统通过电磁波与电子标签进行耦合与通信^[3], 其工作原理如图 1 所示。因为无源电子标签内没有电池, 其工作时的所有能量必须从阅读器的电磁场中获得。无源电子标签在阅读器的响应范围以外是无法进入工作模式的, 只有当它接收到阅读器发出的电磁波, 然后将部分电磁能量转换为直流电供自己工作。

阅读器与标签之间的通信是通过标签改变其负载阻抗来实现的。标签改变其负载阻抗的同时也调整了自己的 RCS。散射目标的 RCS 称为目标对入射雷达波的有效散射截面积。当目标为负载天线时, 如一个标签天线及其 IC 芯片, 改变其负载阻抗就可以改变 RCS。

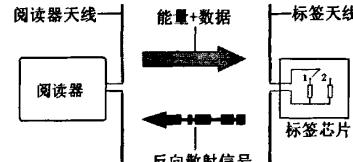


图 1 无源RFID系统工作原理

2 RCS 与识别距离

2.1 标签接收功率

标签天线的接收功率 P_{tag-R} 是描述目标入射功率密度 A_{e-tag} 和标签天线有效接收面积 S_i 的参数。

$$P_{tag-R} = S_i \cdot A_{e-tag} \quad (1)$$

$$A_{e-tag} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{tag} \quad (2)$$

$$S_i = \frac{P_{reader-T} \cdot G_{reader}}{4\pi R^2} \quad (3)$$

其中: $P_{reader-T}$ 为阅读器发送功率; G_{reader} 为阅读器天线增益; G_{tag}

收稿日期: 2010-05-26; 修回日期: 2010-07-06 基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(50925727); 国家自然科学基金资助项目(60876022); 国家“863”计划资助项目(2006AA04A104)

作者简介: 周钰书(1985-), 男, 湖南祁东人, 硕士研究生, 主要研究方向为自动控制、RFID 系统测试等(bluebird517@126.com); 何怡刚(1966-), 男, 湖南新邵人, 教授, 博导, 主要研究方向为电路系统测试、RFID 测试等。

为标签天线增益; R 为阅读器与标签之间的距离。

RFID标签在设计时,会使用共轭匹配的方法来实现标签天线与标签芯片之间的高功率传送。天线与芯片之间的匹配与否可以通过修正反射系数 Γ_m 来实现。 Γ_m 的表达式为^[4]

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

$Z_a = R_a + jX_a$ 为天线的复数阻抗, $Z_t = R_t + jX_t$ 为负载的复数阻抗。

2.2 向标签芯片传送的功率

定义功率传输系数 τ 如下^[5]:

$$\tau = 1 - |\Gamma_m|, 0 \leq \tau \leq 1 \quad (5)$$

$$\tau = \frac{4R_t R_a}{|Z_t + Z_a|^2} \quad (6)$$

由式(1)可以计算出传送到标签芯片处的功率:

$$P_{\text{tag-chip}} = P_{\text{tag-R}} \cdot \tau \quad (7)$$

$$P_{\text{tag-chip}} = P_{\text{reader-T}} \cdot G_{\text{reader}} \cdot G_{\text{tag}} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \cdot \frac{4R_t R_a}{|Z_t + Z_a|^2} \quad (8)$$

从式(5)中可以清楚地看到,提高芯片接收功率和标签的识别距离的有效方法是改进标签天线和标签芯片之间的匹配。

2.3 标签向后散射功率

定义向后散射功率系数 K 如下:

$$K = |1 - \Gamma_m|^2, 0 \leq K \leq 4 \quad (9)$$

$$K = \frac{4R_a^2}{|Z_t + Z_a|^2} \quad (10)$$

同样,由式(1)也可以计算出标签向后散射的功率:

$$P_{\text{tag-back}} = P_{\text{tag-R}} \cdot G_{\text{reader}} \cdot K \quad (11)$$

$$P_{\text{tag-back}} = P_{\text{reader-T}} \cdot G_{\text{reader}} \cdot G_{\text{tag}}^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \cdot \frac{4R_a^2}{|Z_t + Z_a|^2} \quad (12)$$

由式(9)和(12)可知,标签向后散射功率的大小是由标签天线和标签芯片匹配与否决定的。从表1和2可知,当标签芯片阻抗和天线阻抗匹配时发送到标签的功率最大。既然这样,也可以认为传送到标签芯片的功率和标签向后散射的功率是一致的。而标签接收到的功率越大,则表明标签天线的RCS越大。

表1 不同芯片阻抗值对应的

功率传输系数

状态	Z_t	Γ_m	τ	状态	Z_t	Γ_m	K
短路	0	-1	0	短路	0	-1	4
开路	∞	1	0	开路	∞	1	0
匹配	Z_a^*	0	1	匹配	Z_a^*	0	1

2.4 RCS与识别距离的关系

由式(8)可以得到阅读器与标签之间的距离 R 的表达式:

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{reader-T}} G_{\text{reader}} G_{\text{tag}} \tau}{P_{\text{tag-chip}}}} \quad (13)$$

式(12)给出了标签向后散射功率的计算式,那么其RCS表达式为

$$\sigma = \frac{P_{\text{tag-back}}}{S_i} = \frac{G_{\text{tag}}^2 \lambda^2 K}{4\pi} \quad (14)$$

$$G_{\text{tag}} = \sqrt{\frac{4\pi\sigma}{\lambda^2 K}} \quad (15)$$

由以上分析以及式(13)和(15)便可以得到计算标签的识别距离 R 的表达式:

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{reader-T}} G_{\text{reader}} \tau}{P_{\text{tag-chip}}}} \cdot \sqrt{\frac{4\pi\sigma}{\lambda^2 K}} \quad (16)$$

由式(16)可以看出,在外部条件都相同的情况下,标签的识别距离与它的RCS的四次方根成正比,也就说明了标签的识别性能很大程度上取决于RCS的数值。因此分析标签的RCS对研究标签的识别性能有很大帮助。

3 标签天线的建模与仿真

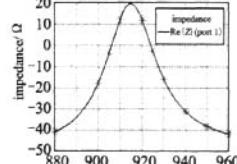
对于无源RFID标签来说,天线与标签芯片间完美的阻抗匹配是实现对芯片稳定供电和实现最佳识别性能的关键。标签的芯片阻抗和天线阻抗匹配时发送到标签的功率最大,即此时标签的RCS最大。下面采用高频电磁场仿真软件FEKO对标签天线进行建模仿真,结合实际参数来分析其性能,以验证RCS对标签识别性能的本质影响。为使仿真计算具有一定的代表性和适用性,本文选择Alien公司的花体标签(标签A)和“L”型标签(标签B)作为模型,在FEKO中构建其标签天线模型并进行仿真计算。标签天线的结构如图2、3所示。



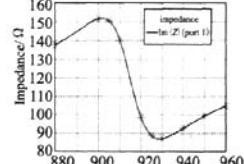
图2 标签A天线结构图

图3 标签B天线结构图

图4、5是标签A、B的输入阻抗。由图4、5可得,在ISM频段中心频率915 MHz下,标签A天线模型的输入阻抗约为 $Z_{ab} = 19.36 + j117.8 \Omega$,标签B天线模型的输入阻抗约为 $Z_{ab} = 35.18 + j108.2 \Omega$ 。前面已经通过仿真得到了标签天线的输入阻抗,下面将在FEKO中对标签天线在不同负载下的RCS作进一步的分析。对于标签A,分别取负载阻抗 $-j117.8 \Omega, 19.36 - j117.8 \Omega$ 来模拟标签的芯片短路,匹配负载的状态;对于标签B,分别取负载阻抗 $-j108.2 \Omega, 35.18 - j108.2 \Omega$ 来模拟标签的芯片短路,匹配负载的状态。



(a) 标签A天线输入阻抗的实部



(b) 标签A天线输入阻抗的虚部

图4 标签A天线输入阻抗

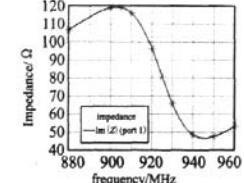
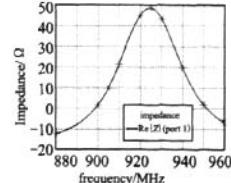


图5 标签B天线输入阻抗

由图6的仿真计算结果可知,标签A在915 MHz下,当天线与负载处于短路状态时,标签的RCS为 0.0491 m^2 ;当天线与负载处于匹配状态时,标签的RCS为 0.0363 m^2 。由图7的仿真计算结果可知,标签B在915 MHz下,当天线与负载处于短路状态时,标签的RCS为 0.0306 m^2 ;当天线与负载处于匹配状态时,标签的RCS为 0.0155 m^2 。

由于反射系数 Γ_m 决定了功率传输系数 τ 和向后散射功率系数 K 的大小,而 Γ_m 又受标签天线阻抗和负载阻抗匹配状态影响,在这两种状态下, Γ_m 会相应地作出改变,从而对标签天线

的 RCS 产生显著影响。标签天线 RCS 的最大值一般是在天线短路时获得的,而当天线与芯片阻抗匹配时,天线和芯片之间将实现最大功率传输。所以,一般的无源 RFID 标签其芯片阻抗都会选择在短路和匹配负载之间变化,以实现与阅读器之间的最佳通信。如果标签的 RCS 很大,而且在短路和匹配负载两种状态下的 RCS 变化值很大,很显著的结果就是增加标签的可读性。这也是从根本上提高标签识别性能的方法之一。

通过比较标签在短路和匹配负载两种状态下的 RCS 便可以大体地看出其识别性能的好坏。如图 6 所示,在 900~930 MHz,标签 A 在短路和匹配负载两种状态下的 RCS 差值变化不大,可以认为该标签在该频段各个频率下均表现稳定,识别性能较好。从图 7 中可以看到,标签 B 在短路和匹配负载两种状态下的 RCS 差值经历了一个由小变大又变小的过程,可以认为该标签在 900~930 MHz 识别性能由差变好又变差,且在 900 MHz 时识别性能最差,925 MHz 时识别性能最好。

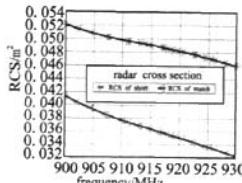


图 6 标签 A 天线在短路和匹配下的 RCS

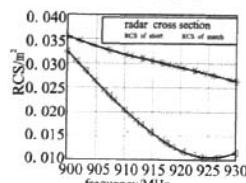


图 7 标签 B 天线在短路和匹配下的 RCS

4 标签最大识别距离的计算及分析

前面已经推导出了标签识别距离的计算式,分析可知: R 要有最大值,则 $P_{\text{reader-T}} G_{\text{reader}}$ 应为最大, $P_{\text{tag-chip}}$ 为最小,天线与负载之间完全匹配。此时, $P_{\text{reader-T}} G_{\text{reader}} = P_{\text{EIRP}}$, P_{EIRP} 为有效全向辐射功率,而在通信协议 ISO/IEC 18000-6 中^[6],已将它的最大值定义为 4 W; $P_{\text{tag-chip}} = P_{\text{threshold}} \cdot P_{\text{threshold}}$ 为标签芯片的开启功率,由于芯片的设计和制造工艺的不同,它的大小一般为 -8 dbm ~ -20 dbm。在计算中取标签 A 的 $P_{\text{threshold}} = -13$ dbm, 标签 B 的 $P_{\text{threshold}} = -10.5$ dbm。由此,可以计算出标签 A 的最大识别距离为 10.61 m, 标签 B 的最大识别距离为 6.39 m。

根据供货商提供的该标签性能参数,在 Impinj 阅读器 R1000 下,标签 A 的含盲点读取距离可达 10 m, 标签 B 为 6 m。考虑到仿真计算时的理想化以及实际测量时的各种干扰,仿真

(上接第 4593 页)

2) 用户识别方式

可以采用软硬两种方式进行用户识别。a) 软识别。按照传统用于用户识别的密码方式,可以指定用户通过第三方推荐服务提供方进行登录,而后跟踪用户的浏览与购买情况。b) 硬识别。随着移动商务的发展,根据移动身份识别硬件(如 SIM 卡)来确定用户的身份,也是保证推荐的完整性可以尝试的一种解决方案,这种识别方式已成功应用于飞信在手机客户端的应用。

4 结束语

本文围绕提供人本位的考虑完整性推荐服务展开,建立了一种服务器端以外的个性化推荐架构,着重讨论了 RSS、智能代理、面向对象存储等技术在该推荐流程中的实现方式,以帮助用户在电子商务品目繁多的商品选择中提供更好的用户体验。由于目前在服务器端以外建立推荐系统的实际应用较

结果与实测结果之间的差异在合理范围之内,可以认为该结果与实际参数一致。

5 结束语

基于识别距离来对标签的识别性能进行分析,受阅读器灵敏度的影响,无法独立客观地给出标签的性能分析和评估,难以对标签性能作出统一的说明,从而不能实现不同标签进行独立于阅读器之外的性能比较。而基于 RCS 对连接不同阻抗的标签天线进行分析,以测量 RCS 的方式来得到标签的识别距离,进而达到评估标签天线的性能的目的,给出了一种对标签识别距离分析的新思路。该方法不仅摆脱了对阅读器灵敏度的依赖,而且能够反映出足够的标签性能分析和评估的信息。基于 RCS 对 RFID 标签天线进行分析的方法,对标签识别性能的研究具有很好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 游战清,李苏剑.无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M].北京:电子工业出版社,2004: 8-19.
- [2] MIRZA H, ELAHI M F. A UHF-RFID tag antenna for commercial applications[C]//Proc of International Conference on Electrical and Computer Engineering. 2008: 764-767.
- [3] RAO K V S, NIKITIN P V, LAM S F. Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2005, 53(12): 3870-3876.
- [4] YEN C C, GUTIERREZ A E, VEERAMANI D, et al. Radar cross section analysis of backscattering RFID tags[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007, 6: 279-281.
- [5] KIM G, PARK Y, CHUNG Y C. Circular UHF RFID tag antenna and relationship between reading range and RCS of the tag antenna [C]//Proc of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2007: 1757-1760.
- [6] ISO/IEC 18000-6, Information technology: radio frequency identification for item management, part 6: parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz[S]. Geneva: ISO/IEC, 2006.
- [7] KIM N, KWON H, LEE J W, et al. Performance analysis of RFID tag antenna at UHF (911MHz) band [C]//Proc of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2006: 3275-3278.
- [8] 周明俊,陆军,高貴,等.基于 RCS 精确预估的机动车切片仿真方法[J].计算机应用研究,2009,26(7): 2774-2776.

少,本文所提出的推荐流程仍需要进行一些原型开发与大量的商业数据模拟实现来验证其有效性。同时,通过面向对象的网络存储方式对用户隐私的确保程度以及用户对本文系统方案的信任问题依然是下一步值得继续研究的方向。

参考文献:

- [1] 胡迎松,韩革,陈中新.一个基于 agent 的个性化推荐系统[J].计算机应用研究,2006,23(4): 78-79.
- [2] 张亚伟,苏一丹.基于移动 agent 的分布式个性化推荐系统[J].微计算机信息,2008,24(9): 191-192,262.
- [3] 蒋国瑞,青海,黄梯云.一种柔性的电子商务推荐系统[J].计算机应用研究,2009,26(3): 930-932,976.
- [4] 陈婷,韩伟力,杨珉.基于隐私保护的个性化推荐系统[J].计算机工程,2009,35(8): 283-285.
- [5] 杨俊,兰宏勇.基于 RSS 的信息推送系统的设计和实现[J].计算机系统应用,2008,17(10): 64-67,31.
- [6] 冯丹.网络存储关键技术的研究及进展[J].移动通信,2009,33(11): 35-39.

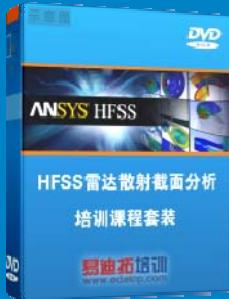
雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

雷达散射截面 (Radar Cross Section, 简称 RCS) 是雷达隐身技术中最关键的概念，也是电磁理论研究的重要课题，使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起，系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授，边操作边讲解，直观易学。

HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程，其中：《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程，帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用；《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面，包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义，实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程，专家讲授，从零讲起，直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

● 更多培训课程：

● **HFSS 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

● **CST 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

● **天线设计培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>