

基于多波束切换的便携式 RFID 阅读器设计

张文锦¹, 李建雄¹, 毛陆虹²

(1. 天津工业大学 电子与信息工程学院, 天津 300387; 2. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 研究了一种基于多波束切换技术的便携式 RFID 阅读器, 详细阐述了射频模块中各硬件部分的工作原理以及芯片参数的确定, 给出了多波束天线系统的设计方案以及整个阅读器系统的设计方案. 该阅读器工作频率的范围为 860-960 MHz, 并且符合 ISO18000-6C (EPC Gen2) 标准. 将多波束切换型智能天线系统应用于 RFID 系统中, 经理论证明, 可提高现有阅读器的最大识别距离、覆盖区域等性能.

关键词: RFID; 阅读器; 多波束切换; 智能天线

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-024X(2013)01-0052-05

Design of portable RFID reader based on multiple switched beams

ZHANG Wen-jin¹, LI Jian-xiong¹, MAO Lu-hong²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A kind of portable RFID reader based on multiple switched beams is investigated, and the operation principle of hardware in RF part and the method of choosing chips are narrated in detail. It also proposes multiple switched beams system as well as integrated RFID reader system. Operation frequency bands of the reader is 860-960 MHz, which corresponds well with the standard of ISO 18000-6C (EPC Gen2). It can improve the maximal read range and area when multiple switched beams are applied to RFID system.

Key words: RFID; reader; multiple switched beams; smart antenna

射频识别 (radio frequency identification, RFID) 技术是 20 世纪 90 年代开始兴起的一种自动识别技术, 它通过无线射频方式进行非接触双向数据通信, 对目标加以识别并获取相关数据. RFID 系统因应用不同其组成会有所不同, 但基本上都是由电子标签、阅读器和系统高层这三大部分组成^[1]. 阅读器从电子标签中读取数据, 并将其发送给系统高层进行处理. 阅读器作为 RFID 系统中的关键部件通过天线与电子标签进行无线通信, 可以实现对标签的读取和写入操作. 因此, 阅读器在 RFID 系统中起到举足轻重的作用. 阅读器的工作频率决定系统的应用频段, 阅读器的发射功率直接影响射频识别的通信距离, 阅读器体积的大小直接影响 RFID 系统的适用范围. 本文重点介绍了便携式 RFID 阅读器的射频模块和基于多波束切换的天线阵结构. 由于受到体积的限制, 目前市面上常见

的商用便携式 RFID 阅读器多采用低增益的小体积单天线, 阅读距离短、识别效率低等问题往往限制了便携式 RFID 技术的应用, 本文采用的基于多波束切换的思想将为小体积远距离射频识别技术的发展提供一定的参考价值.

1 便携式 RFID 阅读器总体结构

阅读器的主要功能是将数据调制后发送给电子标签, 并将电子标签返回的数据解调, 然后传送给系统高层. 本文研究的基于多波束切换技术的便携式 RFID 阅读器的总体结构框图如图 1 所示.

系统高层通过串行接口或 USB 接口发送指令给 MCU, MCU 控制射频收发芯片发送符合协议要求的信号, 该信号经射频前端优化电路放大、滤波后通过多

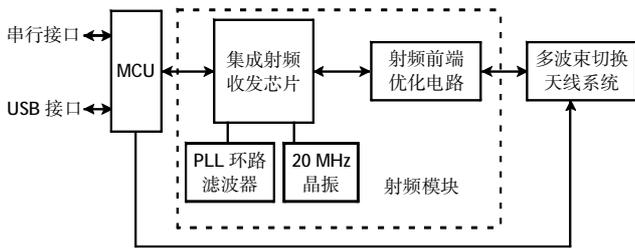


图 1 阅读器总体结构框图
Fig.1 Structure of whole reader

波束切换天线系统发射到空间中。MCU 通过控制多波束切换系统中的射频开关控制波束的选择,从而控制扫描区域,接收过程与之相反。下面分别从射频模块和多波束切换天线系统 2 个部分来分析。

2 便携式 RFID 阅读器射频模块设计

射频模块作为阅读器的重要组成部分是决定阅读器性能的关键,射频模块的主要任务^[4]如下:

- (1) 根据协议要求发射一定频率的射频信号,激活工作区域内的无源标签并为其正常工作提供能量;
- (2) 将待发射的编码信号的频率调制到射频频

段,把数据和命令传送给标签;

(3) 接收标签返回的射频信号,把信号进行解调,并将已解调信号送入系统高层进行处理。

2.1 集成射频收发芯片

本设计选用的芯片 AS3992 是由奥地利微电子公司推出的一款支持 ISO/IEC 18000-6 协议的阅读器射频收发芯片。芯片内部集成底层发送编码、底层解码、数据帧形成、CRC 校验等功能;芯片支持 AM 和 PM 调制以确保在 I/Q 路自动选择时不会存在通信盲点^[5]。该芯片是 64 个引脚的 QFN 封装,9 mm × 9 mm 的尺寸是应用于便携式阅读器的首选。

在阅读器中 AS3992 工作过程如下:在信号发射时,发往标签的数据由 MCU 转载到 AS3992 的 FIFO (先入先出寄存器)中,AS3992 根据协议对信号进行编码,为数据加帧头和 CRC 校验码,形成的数据帧与 PLL 产生的载频信号相混频,调制到射频,由外部 PA 通过天线发射出去。在信号接收时,接受的信号通过芯片内部的 2 个混频器进行 I/Q 双路解调,解调的信号经过内部滤波器滤波和自动增益控制以后进行数字化,去除信号的帧头,进行 CRC 校验。校验正确的信号进行解码,解码后的信号通过 FIFO 送到 MCU 中。AS3992 芯片内部组成框图^[6]如图 2 所示。

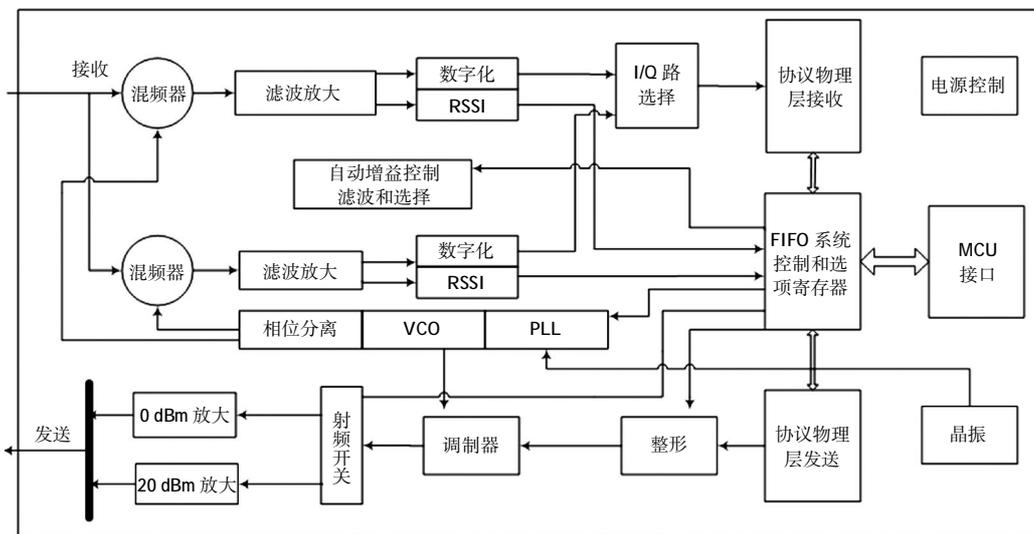


图 2 AS3992 芯片内部组成框图
Fig.2 Internal composition of AS3992

2.2 射频前端优化电路

AS3992 工作于 UHF 频段(840-960 MHz),结合外部优化电路,可实现高效的射频收发功能。这些优化电路主要包括:巴伦、外部功率放大器、定向耦合器。

2.2.1 巴伦

鉴于差分平衡信号在抗干扰等方面的优越性,在

信号的发射过程中,从 AS3992 芯片输出的发射信号采用双端差分线传输。本设计采用的外部功率放大器是单端输入,这就需要在射频芯片和功率放大器之间加入巴伦(balun),它是一种射频信号在不平衡射频端口和平衡差分射频端口之间进行双向转换的装置。考虑到不同于普通的低频电路,在射频电路的设计中,

只有当电路实现阻抗匹配才能实现最大的功率传输^[6],因此本文采用的型号为 0900BL18B100 的巴伦兼具信号转换和阻抗匹配功能,阻抗变换比为 2.图 3 为巴伦部分电路图.

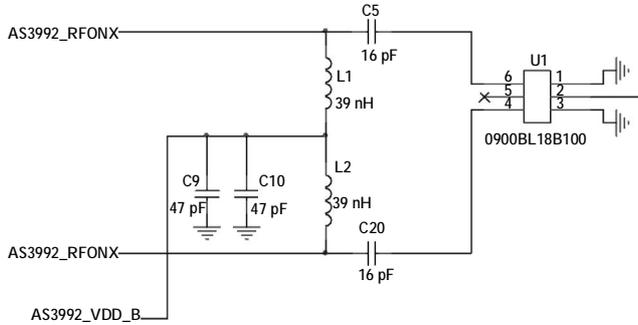


图 3 巴伦部分设计
Fig.3 Design of Balun

2.2.2 功率放大器

AS3992 有 2 个射频输出端口,一个可以输出高达 20 dBm 的高功率,另一个可以输出 0 dBm 的功率.以增益为 2.5 dB 的小体积天线为例,即使采用 20 dBm 的高功率输出端口,读写距离只能达到 1.5 m.为了保证发射信号的质量,本设计选用的输出端作为射频输出端口,通过设定 AS3992 寄存器的值,使其工作在输出为 0 dBm 的模式,通过外接高增益的功率放大器提高读写距离.

为了使核心模块的发射功率能够达到一定的功率值,使其既满足一定的读写距离,又不超过国家无线电监测中心规定的最大发射功率,以下从理论上来确定外部功率放大器的最小增益和输出功率.

核心模块发射的射频信号传递到天线以后,在天线的周围就会产生相应的电磁场.为了简单起见,仅考虑自由空间的情况,并且只考虑传播损耗,不考虑反射、折射以及吸收等现象.

假设读写器的发射功率为 P_{TX} ,发射天线的增益为 G_{TX} ,假设阅读器和 RFID 电子标签之间的距离为 d ,则在 d 处的 RFID 电子标签的功率密度 S_{Tag} 为:

$$S_{Tag} = \frac{P_{TX} G_{TX}}{4\pi d^2} \quad (1)$$

用电子标签天线的有效吸收面积 $A_{Tag} = \lambda^2 S_{Tag} / (4\pi)$ 得出其接收最大功率^[6]为:

$$P_r = S_{Tag} \cdot A_{Tag} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 P_{TX} G_{TX} G_{Tag} \quad (2)$$

式中: G_{Tag} 为标签天线的增益.由式(2)可得:

$$P_{TX} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \frac{P_r}{G_{TX} G_{Tag}} \quad (3)$$

上式以分贝值来表示为:

$$P_{TX}(\text{dBm}) = 10 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 + P_r(\text{dBm}) - G_{TX}(\text{dB}) - G_{Tag}(\text{dB}) \quad (4)$$

本设计采用的电子标签芯片的最小工作门限为 -10 dBm,即 $P_r = -10 \text{ dBm}$,标签天线增益为 0 dB,即 $G_{Tag} = 0 \text{ dB}$,如果采用普通便携式阅读器天线增益为 2.5 dB,即 $G_{TX} = 2.5 \text{ dB}$,则在距离阅读器天线处需要的最小发射功率为:

$$P_{TX} = 45.7 \text{ dB} - 10 \text{ dBm} - 2.5 \text{ dB} - 0 \text{ dB} = 33.2 \text{ dBm} \quad (5)$$

从功率放大器输出端到天线输出端还有 1 dBm 的衰减,因此在这种情况下功率放大器的增益必须大于 34.2 dB,显然这个值对功率放大器的要求过高.无论是从工艺还是成本的角度,低增益天线要达到 5 m 的读写距离是很困难的.本文采用多波束切换技术的小尺寸智能天线在单个方向上的增益至少可达 5.5 dB,在这种情况下,距离阅读器天线 5 m 处需要的最小发射功率为:

$$P_{TX} = 45.7 \text{ dB} - 10 \text{ dBm} - 5.5 \text{ dB} - 0 \text{ dB} = 30.2 \text{ dBm} \quad (6)$$

本设计选用 RFMD 公司的射频功率放大器 SPA2118 来放大发射信号功率.SPA2118 的工作频率为 810 ~960 MHz,覆盖了整个 UHF RFID 频率范围,其线性度高,且增益达到约 33 dB,SPA2118 的匹配电路图如图 4 所示.

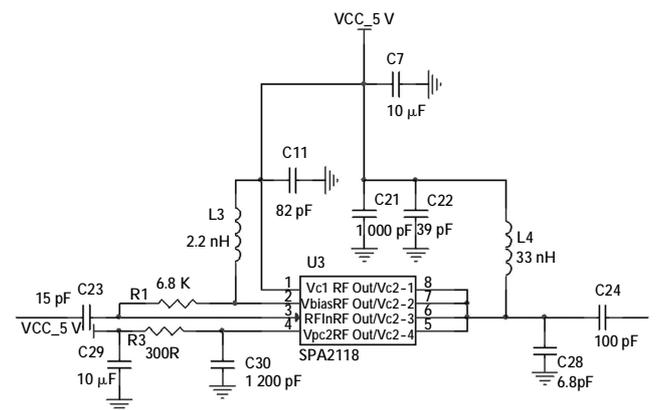


图 4 功率放大器外部匹配电路
Fig.4 Matching circuit of power amplifier

2.2.3 定向耦合器

在 RFID 系统中,发射通道和接收通道隔离一般采用收发隔离的微波器件,通常发射通道泄漏到接收通道的载波信号强度往往比标签返回的信号强度大,这样就要求隔离器件有一定的隔离度.又由于受到核

心模块的体积限制,不能采用大体积的环形器,因此本设计采用型号为 0910CF15B0100 的小体积定向耦合器来实现收发分离.尽管定向耦合器会对接收信号产生一定的衰减,在阅读器灵敏度足够高的情况下,可以使影响降到最小,具体分析如下.

在理想条件下,通过反向散射由电子标签天线返回到阅读器天线的功率密度为:

$$S_{\text{Back}} = \frac{P_{\text{TX}} G_{\text{Tag}} \sigma}{(4\pi)^2 d^4} \quad (7)$$

式中:雷达散射横截面 σ (RCS) 是目标反射电磁波能力的测度,本文采用的 σ 值为 0.2. 用阅读器接收天线的有效吸收面积 $A_w = \lambda^2 G_{\text{TX}} / (4\pi)$ 得出其接收功率^[7-9]为:

$$P_{\text{RX}} = S_{\text{Back}} \cdot A_w = \frac{P_{\text{TX}} G_{\text{Tag}} \sigma \cdot A_w}{(4\pi)^2 d^4} = \frac{P_{\text{TX}} G_{\text{Tag}} C_{\text{TX}} \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 d^4} \quad (8)$$

以分贝值来表示为:

$$P_{\text{RX}}(\text{dBm}) = 10 \lg P_{\text{TX}} + 10 \lg G_{\text{Tag}} + 10 \lg G_{\text{TX}} + 10 \lg \sigma + 20 \lg \lambda - 30 \lg 4\pi d - 40 \lg d(\text{dBm}) \quad (9)$$

式中: $d = 5 \text{ m}$, $P_{\text{TX}} = 33 \text{ dBm}$, $G_{\text{Tag}} = 0 \text{ dB}$, $G_{\text{TX}} = 5.5 \text{ dB}$, $\sigma = 0.2$,代入式(9)可得:

$$P_{\text{RX}} = -60.2 \text{ dBm} \quad (10)$$

由于接收端需要经过定向耦合器耦合,由芯片的 Datasheet 可知,接收到的信号衰减 10 dB,根据式(10),只要读写器的灵敏度大于 -70.2 dBm,即可读到 5 m 处的标签,而本设计选用的读写器芯片的灵敏度为 -86 dBm,远低于最小值.利用 Cadence 电路板设计软件设计的阅读器射频模块 PCB 实物图如图 5 所示.

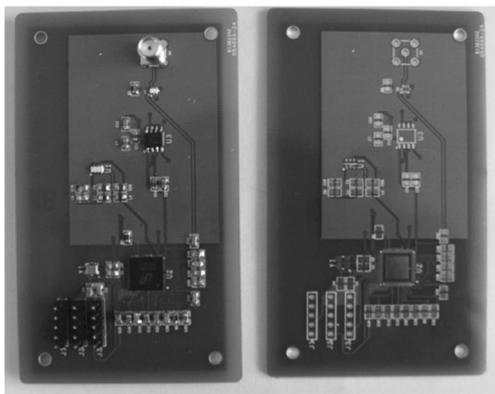


图 5 射频模块 PCB 布置图

Fig.5 PCB routing of RF part

3 多波束切换型智能天线结构

在无源 UHF RFID 系统中,最大识别距离的计算公式为:

$$R_{\text{max}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{TX}} G_{\text{TX}} G_{\text{Tag}} \rho \tau}{p_{\text{th}}}} \quad (11)$$

式中: $P_{\text{TX}} G_{\text{TX}}$ 为等效全向辐射功率(EIRP); ρ 为阅读器天线和标签天线的极化匹配因子(极化完全匹配时, $\rho = 1$); τ 为标签天线和标签芯片的功率传输因子(共轭阻抗匹配时, $\tau = 1$); p_{th} 为激活标签芯片的最小接收功率.由于规范规定的阅读器天线辐射的 EIRP 最大值是受限的,例如国家无线电监测中心规定 EIRP 的最大值是 2 W,如果使用能够产生多个高增益波束的相控阵天线, EIRP 可以在某一个短时间内在某个方向超过 2 W,在计算平均功率时,它具有与低方向性、固定波束天线相同的平均功率,因为波束在多个方向上被扫描控制,从而减小了平均功率.

以 4 个波束扫描为例,图 6 展示了最大识别距离和总的识别区域都有所增加,其中波束 1、2、3、4 的覆盖面积和(总识别区域)大于单个低增益固定波束的覆盖面积.

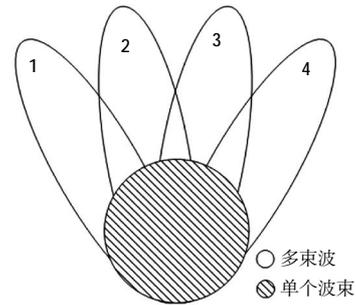


图 6 多波束和单波束覆盖区域对比图

Fig.6 Comparison between multiple beams and single beam

市面上的商用便携式 RFID 阅读器的天线由于受到体积的限制多采用小体积的低增益单天线,阅读距离只能达到 3 m 左右,明显制约了便携式阅读器的使用范围.根据式(11),如果使 G_{TX} 的值增大一倍,则最大识别距离增大 $\sqrt{2}$ 倍,可以达到 5 m 左右.本文研究的 RFID 阅读器中智能天线系统的工作原理为多波束切换型智能天线^[9].在同一时刻由四路天线单元形成一个高增益的窄波束,然后在时间上通过改变信号的相位依次产生多个方向的窄波束,从而扫描所要覆盖区域^[10].

此波束切换型智能天线系统如图 7 所示.

发射时,发射信号通过波束切换开关选择路径,然后进入多路移相器,每一路信号被按不同的相位差形成 4 路新的信号,这 4 路新的信号分别连接到 4 个发射阵元,通过这 4 个阵元发射电磁信号并在空间形成对应的一个波束.比如 A 路对应波束 A1,发射信号

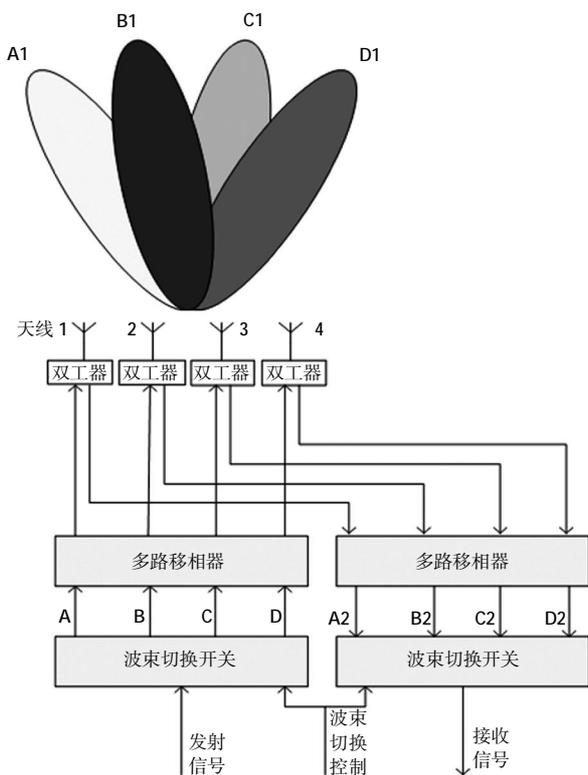


图 7 多波束切换系统示意图

Fig.7 Diagram of multiple switched beams

到达A1 波束覆盖的空间;B 路对应波束 B1,发射信号只到达 B1 波束覆盖的空间,以此类推.接收时和发射时相反,每个波束所接收到的电磁信号被分解到每个天线单元,形成 4 路信号,在多路移相器中按照相位差合成一路信号,最终依然是空间一个波束对应一路信号^[11].

多路移相器是多波束系统的关键,它几乎不改变各路信号的幅值,只改变相位,即多路移相器相当于给各路信号提供了相位权系数.

本文采用的天线单元结构如图 8(a)所示^[12],通过 HFSS 仿真其增益为 1.5 dB.由 4 个天线单元组成的天线阵结构如图 8(b)所示,在一般情况下天线阵中相邻 2 个天线单元之间的距离至少为 $\lambda/2$,否则会造成强互耦,影响整个天线阵的增益.鉴于便携式 RFID 阅读器的体积是受限的,相邻单元之间的距离应当尽量小,本设计通过在 2 个天线单元之间增加接地的金属板以减小相邻单元之间的互耦,减少整个天线阵系统的面积.

天线阵的最大增益为:

$$G_a(\max) = G(\text{dB}) + 10 * \lg_{10} N \quad (12)$$

式中: N 为天线阵中天线单元的数目; G 为单个天线单元的增益;根据式(12)可得出四元天线阵的最大增益 $G_a(\max) = 7.5 \text{ dB}$,此数值相比于普通小体积单天线的增益有明显的改善.

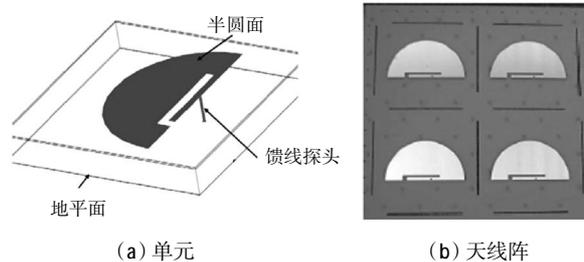


图 8 天线单元和天线阵

Fig.8 Antenna element and array antenna

4 结 论

智能天线技术是近年来快速发展的一种新技术,将智能天线中的多波束切换技术运用于 RFID 阅读器系统中,其性能相比普通单天线阅读器有显著的提高.本文给出了阅读器的硬件和多波束切换天线系统的设计方案,并完成了射频模块电路的优化和调试.采用上述方案设计的阅读器,标签读取速度快,误读、漏读率低,阅读距离远,具有良好的稳定性和可靠性.

参考文献:

- [1] 黄玉兰. 射频识别(RFID)核心技术详解[M]. 北京:人民邮电出版社,2010:19-21.
- [2] CHEN Ying. A system design for UHF RFID reader[C]//11th IEEE International Conference on Communication Technology. 2008:301-304.
- [3] 谭海燕. 基于 AS3990/3991 的超高频 RFID 读写器的设计[J]. 电子技术应用,2010(3):54-56.
- [4] 李曼. UHF 频段 RFID 测试读写器射频模块研究设计[D]. 西安:西北大学,2011:47-49.
- [5] 黄玉兰. 射频电路理论与设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2008:111-112.
- [6] 约翰克劳斯. 天线[M]. 章文勋,译. 北京:电子工业出版社,2011:27-28.
- [7] 陈抗生. 电磁场与电磁波[M]. 北京:高等教育出版社,2008:462-466.
- [8] 陈大才. 无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [9] GROSS Frank. 智能天线:Matlab 版[M]. 北京:电子工业出版社,2009:212-214.
- [10] 胡文艺,曾维周,阚瑗珂. 基于轮询机制的 RFID 读卡系统的设计与实现[J]. 成都理工大学学报,2012(5):549-554.
- [11] 金荣洪,耿军平,范瑜. 无线通信中的智能天线[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2006:284-290.
- [12] KARMAKAR Nemai Chandra. Development of a Phased Array Antenna for Universal UHF RFID Reader[C]//Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2010:1-4.