doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.07.010
引用格式:伍继雄. 码分无线射频识别系统空中接口协议设计及性能分析[J]. 电讯技术,2015,55(7):763-768. [WU Jixiong. Design and Performance Analysis of Air Interface Protocol for Code-Division Radio Frequency Identification System[J]. Telecommunication Engineering, 2015,55(7):763-768.]

码分无线射频识别系统空中接口协议设计及性能分析*

伍继雄**

(中国电子科技集团公司第七研究所,广州 510310)

摘　要:为进一步提高无线射频识别系统单个读写器识别电子标签的速率,设计了一种将码分与统计时分技术相结合的新型无线射频识别系统的空中接口协议,并分析了系统的抗噪声性能、识别速率等主要性能指标。仿真结果表明,新型无线射频识别系统在抗噪声性能和识别速率等方面均优于基于现有国际标准 ISO/IEC 18000-6C 的无线射频识别系统。

关键词:无线射频识别;空中接口协议;码分;统计时分;扩频;冲突分解
中图分类号:TN914.3　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-893X(2015)07-0763-06

Design and Performance Analysis of Air Interface Protocol for Code-Division Radio Frequency Identification System

WU Jixiong

(China Electronics Technology Group Corporation No. 7 Research Institute, Guangzhou 510310, China)

Abstract: To increase the speed of identifying tags for a single reader, an air interface protocol is designed for a new type of radio frequency identification (RFID) system which integrates code-division and statistics time-division technologies. The anti-noise capability and identifying speed of the system is analyzed. Simulation results show that the performance of the new type system is superior to that of the existing system that conforms to the international standard ISO/IEC 18000-6C.

Key words: radio frequency identification; air interface protocol; code-division; statistics time-division; spread spectrum; collision resolution

1　引　言

无线射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是一种通过非接触方式获得被管理对象身份标识的技术,是物联网的基础技术之一。一个 RFID 系统由读写器、标签、后台管理系统组成,采用无源标签的系统因标签成本低而具有巨大的市场潜力。国际标准化组织与国际电信联盟共同推出的标准 ISO/IEC 18000-6C 是目前国际上通用的第二代超高频无源 RFID 系统空中接口规范,采用基于帧时隙 ALOHA 算法(framed-slotted ALOHA)的统计时分多标签防冲突机制[1]。目前,符合 ISO/IEC 18000-6C 标准的产品可以实现最大下行信息速率 160 kb/s、上行信息速率 640 kb/s,单读写器最快识别标签速率在 400 个/秒左右[2]。通过计算即可以验证,在 RFID 所受的频谱限制下,该识别速率对应的时隙效率已接近统计时分复用系统理论上的最大值。而在实际应用中,由于事先难以准确获知现场需要识别的标签数,识别速率会有一定程度的降低,

* **收稿日期**:2015-03-27;**修回日期**:2015-06-10　Received date:2015-03-27;Revised date:2015-06-10
基金项目:中国电子科技集团公司创新基金项目
Foundation Item: The Innovation Fund of China Electronics Technology Group Corporation
** **通讯作者**:1533250977@qq.com　**Corresponding author**:1533250977@qq.com

尤其是在标签密集的场合,若不能较准确地估计现场标签数,则识别速率或时隙效率会明显降低。文献[3]针对这一问题,对 ISO/IEC 18000-6C 的空中接口协议作了改进,使得在标签数量很大的情况下时隙效率仍能接近理论极限值。

随着 RFID 应用的不断发展,对标签识别速率和单位时间识别标签的数量规模将有越来越高的要求,现有采用 ISO/IEC 18000-6C(后文简称 6C)标准的单读写器系统可能难以胜任。因此,设计新型的 RFID 系统以进一步提高单读写器识别无源标签的速率具有重要的实际意义。

在有关识别速率或识别效率的对比研究中,通信距离对实际识别速率的影响并未得到足够重视。由于读写器与标签间的距离大小直接影响接收方信噪比,进而影响误比特率、误包率,因此它对 RFID 系统的实际识别速率有重要影响,涉及到天线设计、射频前端及其集成电路设计等,在这些设计环节中如何提高能量传递效率逐渐成为 RFID 空中接口领域的重要研究话题[4-5]。

近年来,国外出现了将码分多址技术引入 RFID 系统设计的思路[6],但是该文献没有进行较系统的实现描述并进行测试验证。考虑到我国及国际标准中对于 RFID 系统可用频谱的限制,现有技术条件下将纯粹的码分多址技术用于 RFID 系统将使系统可用的标签数与单个标签的信息传输速率之间产生相互制约,且技术实现难度非常大。本文在文献[7]的基础上,提出一种将码分和统计时分技术相结合的新型 RFID 系统(后文简称 CD-RFID)空中接口协议,并重点从抗噪声性能、识别速率等方面对 CD-RFID 系统与 6C 系统进行性能对比分析。

2 CD-RFID 系统空中接口协议设计

将码分技术用于 RFID 空中接口,技术上面临两种选择:一是为每个标签绑定一个唯一的扩频码,使得这些标签能同时向读写器发送信息并能被正确识别,我们称其为纯粹的码分方式;另一种选择是让一定数量的标签共享同一扩频码,这样当共享同一扩频码的标签同时响应同一个读写器时,仍有冲突发生,因此对共享同一扩频码的标签需要结合统计时分复用的方式通过冲突分解过程逐个识别标签。文献[6]研究的属于前者,该方案实施起来面临的主要问题是:在标签数很多的情况下,为了保证不同标签有不同的扩频码,需要较长的扩频码。由于 RFID 系统可用频谱的限制,增加扩频码长就意味着使单个标签传输的原始基带信号在扩频前的频宽要按反比例进行缩减,实质上就是要降低标签向读写器传输信息的速率;此外,由于读写器一般难以事先获知现场标签数量,如何确定一个合适的扩频码长才能满足现场每个标签都分得一个唯一扩频码成为一个难题;即使能准确获知现场标签数,要动态调整扩频码长,会使标签尤其是无源标签的设计变得相当困难。因此,本文选择将码分与统计时分技术相结合的方案,并以此为基础提出与之相适应的空中接口协议。

本文所提出的码分与统计时分技术相结合的空中接口协议,与 6C 标准的最大区别是读写器可通过不同的正交扩频码和多个标签同时通信。我们把每个不同的、互相正交的扩频码看作一个信道,这样 CD-RFID 系统可以同时容许多个信道并行工作,每个信道识别标签的过程就是共享同一扩频码的多个标签进行冲突分解的过程。下面对 CD-RFID 系统的读写器和标签间的空中接口协议所涉及的主要问题进行具体描述。

2.1 读写器

读写器有 N 个可用扩频码,N 的大小受 RFID 系统可用频谱范围及每个信道可容忍的最低信息速率限制。所有可用信道分成下行和上行,下行信道用于读写器通过广播方式给标签下发指令,上行信道用于标签向读写器回送句柄及 EPC 码等。上行可用信道数记为 N_c,读写器对可用的扩频码进行编号,通过广播告知所有标签哪些编号的扩频码是可用于上行信息传输的。为了对 CD-RFID 系统的性能进行评价,还要获知读写器的其他一些物理参数:

(1)天线增益 G_r,分为发送天线增益和接收天线增益,本文假定发送和接收采用同一副天线,这两个增益相等;

(2)码片速率 C_r,指扩频后单位时间内上、下行码片数;

(3)扩频码长 L_s,指上、下行信道每个扩频码的位数;

(4)发送信号功率 S_{rt},指读写器通过天线发送出的无线信号的功率;

(5)接收信号功率 S_{rr},指读写器收到的由单个标签通过反射调制(反射)回来的信号;

(6)噪声功率 P_{nr},指读写器天线在接收标签反射回来的信号中混杂的噪声总功率,本文仅考虑加

性高斯噪声。

2.2　标签

标签通过读写器的广播信号获知可选用的扩频码及退避参数。由于标签间不能直接通信,选用同一个特定扩频码的标签可能有多个,因此 CD-RFID 系统仍有标签发生冲突的可能性,CD-RFID 系统仍然需要有恰当的退避机制。收到包含退避参数广播信号的标签应当从可用信道(编号由扩频码确定)中随机选取一个,并根据广播信号中的退避参数按恰当的退避策略选择一个合适的时机向读写器发送句柄、EPC 码等信息。

标签一侧对系统性能有重要影响的主要参数有以下 5 个:

(1)标签天线增益 G_t,分发送增益和接收增益,因收发共用同一天线,收、发增益相等;

(2)标签接收信号的功率 S_{tr},指标签收到读写器所发信号的功率(包括载波);

(3)标签发送的信号功率 S_{tt},指标签经反射调制后发出的信号功率(包括载波功率);

(4)信号反射系数 R,指标签反射回读写器的信号功率与标签收到的电磁波功率之比,$R=S_{tt}/S_{tr}$;对于无源标签,需要从所接收到的电磁波中转换部分能量供电,R 值一般小于 1;

(5)标签噪声 P_{nt},指标签所收到的信号中混杂的噪声,本文仅考虑加性高斯噪声。

我们设计了一种 CD-RFID 空中接口协议,以四信道 CD-RFID 系统为例,读写器和标签间信息交互过程的时序关系见图 1。

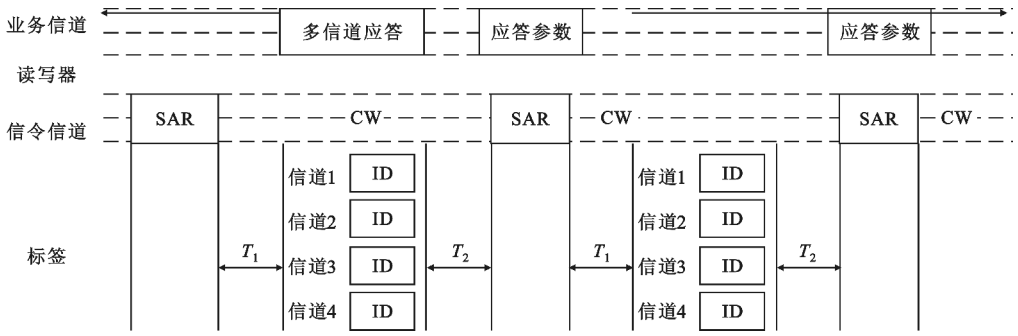


图 1　四信道信令示意图

Fig. 1 Example of signaling with 4 uplink channels

标签识别过程如下:

Step 1:读写器产生扩频码和其他初始化信息,通过状态和应答(Status and Response,SAR)命令发送给标签;

Step 2:标签根据 SAR 命令随机挑选一个扩频码作为自己的信道,并完成其他参数的设置;

Step 3:经过 T_1 时间处理后,各信道标签同时主动上报标识(identification,ID)码,其中包含应答参数 16 位随机数(Random Number,RN16)、电子产品编码(Electronic Product Code,EPC)码和 16 位循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check,CRC),应答参数将会在读写器成功识别后应答给标签,用于标签检验自己是否被成功识别;

Step 4:读写器在 T_2 时间内处理标签的信息,接收到不同信道的 ID 码解码成功后将其上报给上位机;

Step 5:读写器通过发送 SAR 命令对标签进行应答,其中包含应答参数;

Step 6:标签收到 SAR 命令后,将收到的应答参数和自己的应答参数做比较,一致的表示被成功读取,标签设置成静默状态,在这一轮及后续读取流程中将不会再应答;

Step 7:其他标签继续按照上述流程上报。

3　主要性能对比分析

CD-RFID 系统由于采用了扩频通信,相对于 6C 标准,其直接优势主要在于有较明显的抗噪声性能的提升。而得益于抗噪声性能的提升,系统正确识别标签的速率也能有一定提升。下面从抗噪声性能、正确识别标签的速率两方面将 CD-RFID 与 6C 标准进行对比分析。

3.1　抗噪声性能

对于使用无源标签的 RFID 系统,因读写器靠标签反射回来的信号识别标签信息,该信号比读写器发给标签的信号多了一个上行方向的传播损耗,

因此,噪声、干扰因素导致信号判别错误最终主要表现在读写器对标签发送的 EPC 码等上行信息的识别错误。由于读写器的接收灵敏度远优于标签的接收灵敏度,加上 RFID 系统是近距离通信,因此重点考虑下行过程的抗噪声性能。

将读写器发送的信号记为 x_{rt},标签收到的信号记为 x_{tr},加性高斯噪声记为 n_t,则有

$$x_{tr}=kx_{rt}+n_t。\tag{1}$$

式中,k 由读写器天线增益、标签天线增益、读写器与标签间无线信号的传播损耗等因素共同决定,

$$k=\sqrt{RG_rG_t}/L_b,\tag{2}$$

L_b^2 为传播损耗,工程应用中通常以 dB 为单位表示。令 $L_d=10\lg L_b^2$,在自由空间,以 dB 为单位的传播损耗 L_d 为

$$L_d=32.5+20\lg F+20\lg D。\tag{3}$$

式中,F 是频率,以 MHz 为单位;D 是读写器与标签间距离,以 km 为单位。

数字通信系统中,噪声对系统的不利影响一般可用误比特率来衡量。在加性高斯白噪声环境中,误比特率主要与信噪比 $\gamma=S_{tr}/P_{nt}=\overline{x_{tr}^2}/\overline{n_t}^2$、调制解调方式有关。对于基本的调制方式如 BPSK 等,误比特率有较为准确的计算公式。不过,无论是 6C 标准还是 CD-RFID 系统,针对读写器所采用的信号波形及调制方式,难以给出准确的表达式,尤其是 CD-RFID 系统,还要考虑扩频和解扩对降低误比特率的影响,这进一步加大了得到误比特率的准确表达式的难度。如果需要粗略地估计码分系统误比特率,可以先确定未扩频时的误比特率表达式,再将该表达式中的信噪比乘以扩频因子,就得到码分系统误比特率的一种近似表达式。由于使用近似表达式的误差难以保证,本文用仿真手段对 CD-RFID 系统和 6C 系统的误比特率进行对比。

图 2 是同等条件下 CD-RFID 与 6C 系统的抗噪声性能对比。图中设定的参数:发射与接收天线增益均设为 1,反射系数 $R=0.9$(指标签在需要通过反向散射调制向读写器传输数据瞬间的反射系数);CD 扩频比取为 15,多址干扰信道数为 14;发送功率设为2 W,读写器与标签间距为10 m。上述仿真中有关参数的设定,都在实际可实现或标准规定的范围内。图 2 中每个点都是通过模拟 CD-RFID 或 6C 系统100 000 b的发送与接收过程,然后统计错误比特占总比特数比例而得到的。可以看出,同等条件下,CD-RFID 误比特率明显小于 6C 系统,因而它在抗噪声性能方面具有明显优势。

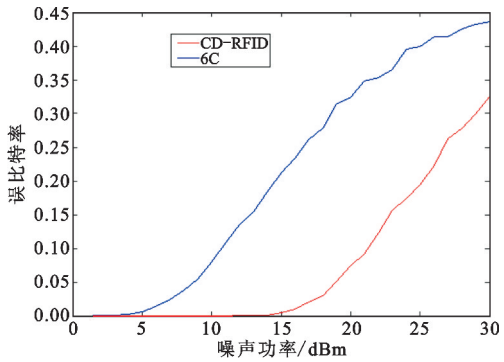


图 2 CD-RFID 与 6C 系统抗噪声性能对比

Fig. 2 Comparison of anti-noise performance between CD-RFID system and 6C system

3.2 识别速率的对比

识别速率是指单位时间内读写器能成功识别的标签数。为了保证关于 6C 系统仿真方法的可信,我们将关于 6C 系统的仿真与文献[2,8]所做的关于 6C 标准的仿真进行了对比,结果与其吻合较好。为了将 CD-RFID 与 6C 系统进行识别速率的对比,我们分别对 CD-RFID 和 6C 系统做了大量仿真试验。试验中每指定一个标签数,就分别按两种系统的空中接口协议模拟识别这些标签的过程,记录正确识别完这些标签所需的时间,所需时间长者识别速率低。

在实际应用系统中,往往事先不知道待识别标签的数目,此时影响系统识别标签所需时间的一个重要因素是所采用的标签数估计方法[2]。由于本文的重点是空中接口协议的性能对比,因此假定待识别的标签数已知,从而不涉及标签数估计,换句话说就是假定标签数估计方法是理想的,不会产生标签数估计的偏差。

仿真分两种条件:一是不考虑误码的影响,这实际上是假定了系统处在无噪声或信噪比非常高的环境;另一种是考虑误码影响的情形,由于噪声在所难免,CD-RFID 凭借码分系统抗噪声性能的优势,对提高标签识别速率有所裨益。

使用无源标签的 RFID 系统信息传输过程中最容易出错的环节是标签向读写器发送的 ID 信息码或 EPC 码,因为该信号载波经历了下行和上行两次损耗,标签只能从下行载波中获取能量,因此,我们后续的分析只考虑标签上传 EPC 码信息时出错。一旦该信息出错,该标签需要重新启动退避机制,在下一个选定的时隙重发 EPC 码等信息并且不出错,

该标签才能得以识别。

设误比特率为 P_b,由于 RFID 系统的 EPC 编码并未采用前向纠错码,因而只要有一位编码出错,就认为整个 EPC 码出错,因此误码率可按下式计算:

$$P_e = 1-(1-P^b)^m。\tag{4}$$

式中,m 表示标签上传的 EPC 码及其附带信息(如循环冗余校验码 CRC16)的总位数。由于误码率近似于 m 的指数函数,m 较大的信息,其出错率显著高于短信息。在标签识别过程中,标签上传的最主要信息就是 EPC 码及其附带信息。

图 3 是不考虑误码时 CD-RFID 与 6C 系统识别相同数量标签所需时间对比的一个例子。该图中,蓝色线条是 6C 系统的识别时间与标签数间的关系,6C 系统的最大下行信息速率为160 kb/s、上行信息速率为640 kb/s;红色曲线是 CD-RFID 系统的结果。考虑到我国及国际标准中对于 RFID 系统可用频谱的规定及典型技术条件下可达的频谱效率,仿真设定 CD-RFID 系统的码片速率为 1.92 Mchip/s,上、下行扩频码长均为 15,上行信息信道数为 4,下行指令信息速率相当于 3 个信道的速率。需要说明的是,扩频码长取 15,系统有 15 个可用的扩频码可用作读写器和标签之间的双向通信,较适宜将仿真系统用硬件实现;每个扩频码可对原始频宽128 kHz的信号进行扩频,该原始频宽在普通调制方式下可传输的信息速率大致在数十 kb/s 至数百 kb/s 之间,与具体的通信电路设计及制作工艺有关。图中每个数据点的数值都是在同等条件下运行仿真程序 500 次然后取平均得到的。从图 3 可以看出,当 CD-RFID 系统具有 4 个上行信道时,识别速率就可超过 6C 系统。其中有关 6C 标准的仿真方法与文献[2]经过仔细对比,发现两者符合性很好。

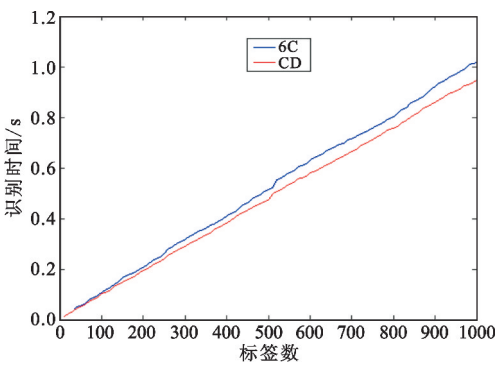


图 3　不考虑误码时识别速率的对比

Fig. 3 Comparison of identifying speeds without bit error

图 4 是考虑了误码影响情况下 CD-RFID 与 6C 系统识别相同数量标签所需时间的对比。仿真中假定 CD-RFID 与 6C 系统的读写器发射功率、读写器及标签天线增益、标签反射系数、读写器与标签间距离等均对应相等且取与图 2 一致的参数值。根据 3.1 节所述误比特率的仿真,当噪声功率取3 dBm 时,6C 系统误比特率为0.004 1,CD-RFID 系统的误比特率略小于0.000 05,6C 系统的最大上行信息速率640 kb/s、下行信息速率160 kb/s,CD-RFID 系统的上、下行扩频码长均为 15,码片速率 1.92 Mchip/s,上行信道数为 2,其他未说明的影响误比特率的有关条件与图 2 一致。类似于图 3,图 4 中,蓝色曲线是按 6C 标准仿真的结果,红色曲线是按本文设计的 CD-RFID 空口协议的仿真结果。每个点的数值都是在同等条件下将仿真程序重复运行 500 遍,将每遍所得结果平均后得到的。

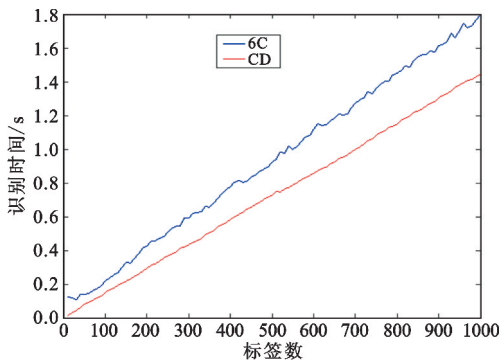


图 4　考虑误码影响时识别速率的对比

Fig. 4 Comparison of identifying speeds with bit error

由图 4 中结果对比可以看出,在所设定的参数条件下,考虑了噪声导致的误码影响后,CD-RFID 与 6C 系统识别相同数目的标签所需时间均有明显增加,但是为了获得与 6C 系统相当的识别速率,CD-RFID 需要的上行信道数比不考虑误码时需要的信道数从图 3 的 4 个信道降低到图 4 中的 2 个信道,这得益于 CD-RFID 系统因采用扩频通信而具有明显的抗噪声性能的优势。

4　结束语

为进一步提高标签识别速率,本文提出了一种适用于 RFID 系统的新型空中接口协议,并对系统的抗噪声能力、标签识别速率等性能进行了仿真研究,结果表明,与符合 ISO/IEC 18000-6C 标准的系

统相比,CD-RFID 具有明显的抗噪声性能的提升,这要得益于 CD-RFID 系统充分利用了 RFID 系统的可用频谱并且采用了扩频码分通信技术。此外,通过适当选取扩频码长,文中所提出的 CD-RFID 空中接口协议及相应的 RFID 系统能轻松超越 ISO/IEC 18000-6C 标准所能达到的最高识别速率,扩频通信在抗噪声性能方面的优势使得文中所提出的空中接口协议在提升实际的标签识别速率方面更为有效。现有高速多核处理器、多核数字信号处理器及 RFID 专用芯片工艺的快速发展为文中所提出的通信协议的实现提供了硬件支持。在本文研究的基础上,下一步将开展结合码分和统计时分技术的 CD-RFID 系统实现的研发工作,并探索进一步提高 CD-RFID 系统性能的新方法。

参考文献:

[1] ISO-IEC_CD 18000-6C, Information technology-radio frequency identification for item management. part 6: parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz[S].

[2] Chen W T. A Feasible and easy-to-implement anticollision algorithm for the EPC global UHF class-1 generation-2 RFID protocol[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2014, 11(2): 485-491.

[3] Satyavolu C J, Veeramani M, Radhakrishnan S. Item-level tagging sees more tags: analyzing the performance of EPC Gen-2 protocol in large-scale RFID systems[C]//Proceedings of 2014 IEEE Global Communications Conference. Austin, TX: IEEE, 2014: 380-385.

[4] Volk T, Bhattacharyya M, Waldemar G W, et al. Formal description of inductive air interfaces using thévenin's theorem and numerical analysis[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2014, 50(6): 800-809.

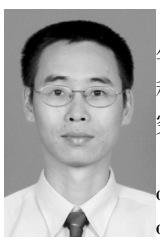
[5] Carvalho N B, Georgiadis A, Costanzo A, et al. Wireless Power Transmission: R&D Activities Within Europe[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technhology, 2014, 62(4): 1031-1045.

[6] Tanee D, Siwaruk S. Using CDMA to Enhance the MAC Performance of ISO/IEC 18000-6 type C[J]. IEEE Communication Letters, 2011, 15(10): 1129-1131.

[7] 刘礼白. 特高频无源标签码分射频识别[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
LIU Libai. UHF passive tag code division radio frequency identification[M]. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese)

[8] 谈熙,常若艇,黄晨灵,等. 超高频射频识别系统信号特征分析及应用[J]. 通信学报, 2009, 30(6): 89-102.
TAN Xi, CHANG Ruoting, HUANG Chenling, et al. Analysis of Signal Features and Applicationfor UHF Radio Frequency Identification System[J]. Journal on Communications, 2009, 30(6): 89-102. (in Chinese)

作者简介:



伍继雄(1970—),男,广东台山人,2004 年于华南理工大学获博士学位,现为高级工程师,主要从事物联网与 RFID 技术的标准研究、产品研发和系统应用等方面的工作。

WU Jixiong was born in Taishan, Guangdong Province, in 1970. He received the Ph. D. degree from South China University of Technology in 2004. He is now a senior engineer. His research concerns standard, product R&D and system application for Internet of things(IOT) and RFID.

Email: 1533250977@qq.com