

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106427

基于 RFID 系统的防碰撞算法研究与改进^{*}

陈祥营 朱正伟

(常州大学 微电子与控制工程学院 常州 213164)

摘要:为减少射频识别 RFID 系统中阅读器识别的总时间并且针对分组 DFSA 算法中组内效率不高的情况,提出一种新的分组 DFSA 算法。阅读器通过分析每一帧中的识别结果设定一个动态变化的分组因子,标签根据混沌伪随机数生成自身特征值,然后与分组因子值对比来选择是否在当前帧应答。MATLAB 仿真得出,新算法系统效率稳定,减少了识别需要的时隙数目。在待识别标签数低于 300 时,比 DFSA 和分组 DFSA 算法所用识别时间减小了 11.7%~16.1%;在待识别标签数超过 1 000 时,比 DFSA 和分组 DFSA 算法分别减小 48.8%、17.14% 以上。

关键词: 射频识别;动态帧时隙;分组因子;防碰撞算法;吞吐率;混沌序列

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6020

Research and improvement of anti-collision algorithm based on RFID system

Chen Xiangying Zhu Zhengwei

(School of Microelectronics and Control Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: In order to reduce the total time of reader identification in RFID system, a new packet DFSA algorithm is proposed to reduce the intra group efficiency of packet DFSA algorithm. The reader sets a dynamic grouping factor by analyzing the recognition results in each frame, the tag generates its own characteristic value according to the chaos pseudo-random number, and then compares it with the grouping factor value to select whether to respond at the current frame. MATLAB simulation shows that the system efficiency of the new algorithm is stable and the number of time slots needed for identification is reduced. When the number of tags to be identified is less than 300, the recognition time of DFSA and packet DFSA is reduced by 11.7% ~ 16.1%, when the number of tags to be identified is more than 1 000, the recognition time is reduced by 48.8% and 17.14% respectively compared with DFSA and packet DFSA.

Keywords: radio frequency identification; dynamic frame time slot; grouping factor; anti-collision algorithm; throughput rate; chaotic sequence

0 引 言

射频识别(RFID)是一种非接触式的自动识别技术,由于其工作能耗低、工艺成本低、对恶劣环境的适应性强等诸多优点,已经大规模应用于许多生产及生活领域^[1]。在上述背景下,本课题委托方河北省某市公安局为了响应文明执法的号召,对于原来辖属各派出所执法人员的工作中可能存在的 not 按照规定流程办事的情况,结合 RFID 技术为派出所提供了完整的信息采集及整合的技术方案。在此场景下,对于办案人员、嫌疑犯、目击证人等不同身份提供不同的标签信息,同时对于各种材料、证据等需要归档的文件提供相应信息,通过射频识别出的标签信息,上传至服务器作为审查的依据,以此来规范办案人员的工作方式和流程。

但是在现实的应用环境下,一个 RFID 的阅读器往往对应着成百上千个标签,当这些标签与阅读器进行数据的传输时,会因为数据之间的碰撞导致阅读器无法准确识别出完整的信息,造成数据丢失。这种信息传输冲突使得某些标签的信息在一段时间内不被读取(称之为标签‘饿死’现象)^[2]。当发生标签‘饿死’现象时,整个 RFID 系统的工作效率就会严重下降,因此如何有效解决这种标签碰撞的问题就成为了 RFID 技术在市场上得到更进一步应用的重要前提。

目前,标签的防碰撞问题一般通过 ALOHA 算法^[3-5]、二进制树搜索算法两种方法解决。ALOHA 算法作为一种确定性防碰撞算法以其实现方式简单和识别过程快速等特点得到了广泛的应用^[6],其中动态帧时隙 ALOHA(DFSA)

收稿日期:2021-04-19

* 基金项目:常州市科技项目(CE20180045)资助

算法的应用最为广泛^[7-9]。但是由于在实际应用场景中,如供应链物流中RFID标签标识的库位及托盘管理或者无人便利店中的物品RFID标签,其数目多数情况下会达到上千,而当标签数目较多时,DFSA算法因其自身的局限性会导致系统效率急剧降低,此时RFID系统识别所有标签需要的时间会呈指数级增加,所以很难解决实际应用场景下的标签碰撞问题。因此有人在DFSA算法的基础上提出了分组动态帧时隙(ADFSFA)算法。通过将标签分组的方法来限制参与应答的标签数目,以此达到提升识别效率的目的。在此算法基础上,又有多种通过改进分组策略来提升系统识别性能的方法被科研人员提出。

虽然目前有多种DFSA算法的改进算法被提出,但考虑到这些算法要么复杂度高,要么效率低,所以为了降低RFID系统中防碰撞算法的复杂性,同时保持高效率、低成本,本文提出了一种低复杂度的分组防碰撞算法。该方法通过阅读器设定分组因子 X ,与标签生成的特征值进行对比后来控制参与识别的标签数量。减小了识别时间,提升了系统效率。

1 现有的ALOHA算法

1.1 帧时隙ALOHA(BFSA)算法

纯ALOHA算法是基于时分多址思想的一种标签防碰撞算法,但是由于每一个标签向阅读器发送应答数据的时间是完全随机的,所以不同标签之间的应答数据碰撞概率很高。虽然其实现方式相当简单,但在实际的场景中很少使用。

作为在纯ALOHA算法的基础上进行改进的一种简单的标签防碰撞算法,帧时隙ALOHA算法将信道划分成许多帧,又将帧划分成若干时隙,每个帧和时隙的大小由阅读器根据实际需要确定。由于该算法规定了标签只能在每一个时隙开始的地方并且以时隙为单位的时间内进行数据传输,所以与纯ALOHA算法相比,BFSA算法减少了数据发生碰撞的概率,提高了系统的识别效率,其系统效率最大可以达到36.8%,是纯ALOHA算法的2倍,如图1所示。

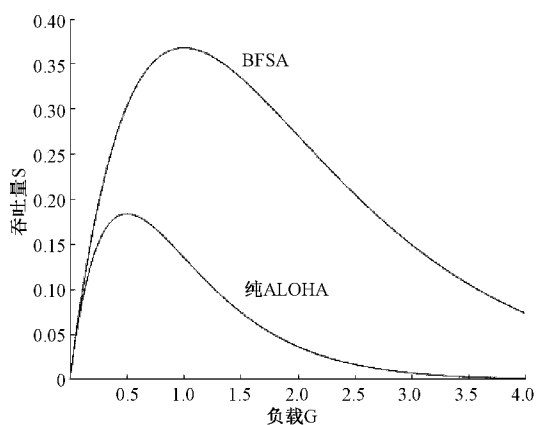


图1 纯ALOHA算法与BFSA算法系统效率

由图1可知,BFSA算法的性能是随着网络负载(标签数)变化而改变的,当标签数目增加时,系统的识别性能会急剧降低。

假设当前帧内未识别标签数目为 n ,时隙数为 N ,根据概率论原理,标签选中某时隙的概率为 $1/N$,则当前帧内有 r 个标签选择同一个时隙的概率为:

$$p(x=r) = C_n^r \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (1)$$

这样经过一帧的识别后,识别出的标签数目为:

$$num = Np(x=1) = Nn \left(\frac{1}{N}\right) \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (2)$$

则当前的系统效率为:

$$S = \frac{num}{N} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (3)$$

对上式求导:

$$\frac{d}{dn} S = \frac{d}{dn} \left(\frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \right) = 0 \quad (4)$$

得出当帧长与未识别标签数目相等,即 $N=n$ 时,系统的识别效率可以取到最大值。

所以为了解决BFSA算法识别效率会严重降低的缺点,动态帧时隙ALOHA(DFSA)算法便在此基础上被提出。

1.2 DFSA算法和ADFSFA算法

DFSA是目前比较流行的防碰撞算法,它的主要特点是可以自适应调整帧长^[10]。其核心就是对未识别标签的数量估计和适当的帧长度调整方案两个步骤。

对于标签数量估计,有直接估算法和间接估算法两种,估计算法的性能会直接影响到系统的识别效率,本文采用的是直接估算法:阅读器根据当前帧的识别情况统计出空闲时隙数、碰撞时隙数、已读时隙数,然后将碰撞时隙数与一常数相乘来达到估计出未识别标签数的目的。目前来说,此常数有多种方案可以确定,这里使用的是2.3922。

对于帧长度的具体调整上,仍有许多科研人员在提出自己的解决方案,如:通过采取对帧长早期调整方案来改进算法效率^[11];基于码分多址的思想,推导出一种最优帧长和标签数目估计的表达式^[12]。除此之外还有很多其他的方案,其基本思想仍是为了给出帧长与待识别标签数的最佳数学表达。

由于DFSA算法中帧长 N 并不是固定的,帧长可以通过每次识别的结果缩小与未识别标签数的差距,所以该算法的系统效率较之BFSA算法有了明显的提高。但是由于硬件成本的限制,帧的长度一般最大取到256,因此当标签数较大时,DFSA算法所需的时隙数目就会急剧增长,由此导致算法效率大大降低。所以在DFSA的基础上,提出了分组DFSA(ADFSFA)算法,当标签数量过多时,通过分组的方法来限制参与应答的标签数目。分组DFSA算法的识别所用时间呈线性增加,可以很好地优化系统性能。所以对于标签数目比较大的情况,一般使用ADFSFA算法。

但ADFSFA算法在将标签分组后,在处理标签请求时

与 DFSA 算法的处理是相同的,所以 ADFSA 算法只解决了大标签数目下系统识别效率急剧降低的问题,并没有提升每一组中的标签识别效率,不适用于一些需要阅读器识别时间尽可能短的实际应用场景。

2 改进的 DFSA 算法

2.1 算法的基本思想

虽然分组 DFSA 算法解决了大数量的标签场景下 DFSA 算法时隙利用率骤降的问题,但分组后对于每一组内的标签处理与 DFSA 算法是相同的。而 DFSA 算法中尽管帧长是一直动态变化的,但因为帧长取值是固定的,未识别标签的数量不可避免的会与帧长度存在差距,由此根据式(4)的说明其时隙的浪费必然会降低整个识别系统的效率。所以本文提出了一种基于 DFSA 的低复杂度防碰撞算法。

传统的分组 DFSA 算法一般在标签数目达到某一临界值时(如 256,709)开始进行分组^[13-15],通过不同的分组方式结合标签估计技术来限定每一组中的参与识别标签数目,达到提升系统效率的目的。而本文提出的改进算法不管估计出的待识别标签数量是多少都会开始进行分组,在确定未识别标签数目的情况下根据分组因子 X 对标签进行分组,使得每一帧的识别中系统都按照或接近最大吞吐率工作,可以有效减少识别所需的总时隙数,提升系统效率。

2.2 算法流程

本文改进算法的流程如图 2 所示。

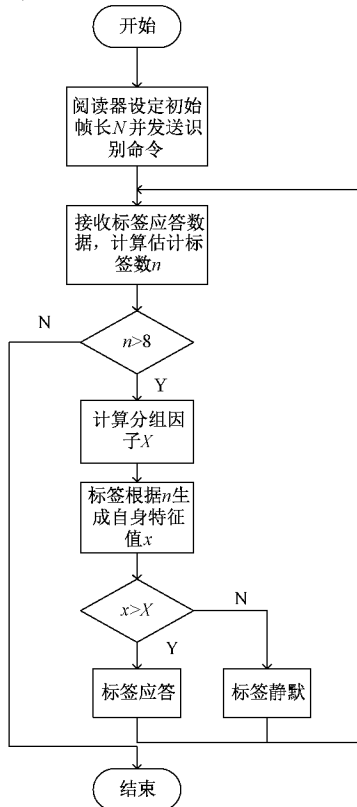


图 2 改进算法流程

具体步骤如下:

1) 阅读器发送首轮识别指令(含设定初始帧长度 N), 待识别标签接收到数据后返回自身应答数据。阅读器根据首轮识别结果得到空闲时隙数、碰撞时隙数 C_k 、已读时隙数, 然后根据碰撞时隙数估计未识别标签数 n :

$$n = 2.3922 \times C_k \quad (5)$$

2) 根据步骤 1) 中的未识别标签数 n , 按表 1 中的对应关系选择是否调整帧长 N 。

表 1 估计标签数与帧长的对应关系

估计标签数 n	帧长 N
>255	256
128~255	128
64~127	64
32~63	32
16~31	16
8~15	8

从表 1 的对应关系可以看出, 帧长 N 的取值一直小于等于估计标签数 n , 这样可以保证能将所有估计标签一直分为两组, 其中一组可以始终包含 N 个标签以参与识别, 另一组的标签可以进行短暂的休眠。

3) 根据估计标签数 n 和帧长 N 设定一个分组因子 X , 标签产生的随机分组数只有小于 X 才参与识别, 其他则处于休眠状态。 X 的取值如下:

对于每一个未识别标签, 取一个对应的特征值 x , 特征值的取值使用哈希函数的除留余数法, 即:

$$x = m \% 100 \quad (6)$$

m 为标签在 $1 \sim n$ 中使用组合混沌映射伪随机数生成器选择的值^[16], 这样可以获得均匀性更好的随机数, 其迭代表达式如下:

$$x_{n+1} = \begin{cases} \text{mod}\left(\frac{a_1}{x_n} + \lambda \frac{x_n}{a_2}, 1\right), & 0 < x \leq a_2 \\ \text{mod}\left(\frac{a_1}{x_n} + \lambda \frac{1-x_n}{1-a_2}, 1\right), & a_2 < x \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中, $a_1=17, a_2=0.3612, \lambda=3.5, x_0=0.7$ 。

这样由式(6)和(7)可知, 对于所有标签, x 的值总在 $0 \sim 99$ 之间。本文取 $q = n \% 100$, 因为其选定的时隙数是满足二项分布的, 所以 n 个标签中 x 取 1 的个数 p 可以近似为:

$$p = n \times \left(\frac{n}{100} + 1\right) \times \frac{1}{C_n^1} = \frac{n+100}{100} \quad (8)$$

则由式(8)可知: x 取 $1 \sim q$ 的标签数为 p, x 取 $q+1 \sim 99$ 或 $x=0$ 的标签数为 $p-1$ 。

由上述我们根据当前帧长 N 确定的分组因子 X 的取值为:

$$X = \begin{cases} \frac{N}{p}, & p \times q \geq N \\ q + \frac{N - p \times q}{p - 1}, & p \times q < N \end{cases} \quad (9)$$

4) 当分组因子 X 的值确定后,所有标签根据自身的特征值 x 确定是否参与这一轮的识别过程,若 $x > X$,则标签处于静默状态;反之在这一轮的识别中保持应答。

当前帧结束后,阅读器又根据新的结果进行新一轮的处理。

将估计标签数 n 按表 1 所示由 8 取到 1 000,用 MATLAB 按照算法的内容进行仿真,结果如图 3 所示。

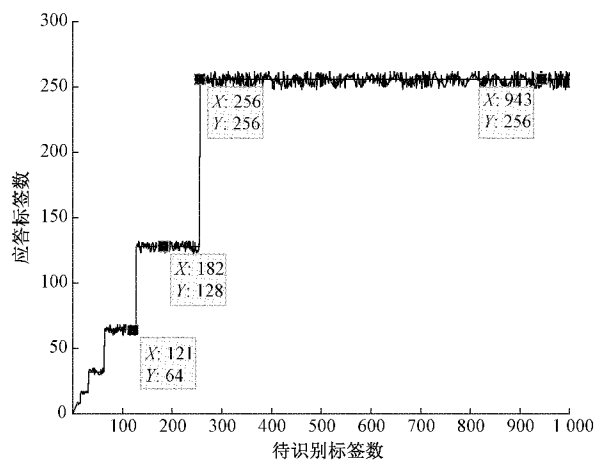


图 3 由随机因子 X 确定的应答标签数

从图 3 可以看出,标签将自身特征值 x 与根据式(9)所计算的 X 值对比后,对于 n 的每一取值,实际应答标签数都围绕帧长(256, 128, 64, 32, ..., 8)上下波动,即应答标签数与当前帧长相等等或接近。而且可以看出即使在标签数目较大时,实际应答标签数与此时的帧长 256 之间的大小相差不超过 3.12%,所以通过 X 的设定可以有效的限制参与识别的标签数目,提升 RFID 识别系统的效率。

3 仿真结果及分析

为了验证本文改进算法的性能,将其与原有算法进行对比。在相同待识别标签数量的情况下,通过仿真结果分析算法的识别时隙总数与时隙利用率两个指标。在相同的硬件环境下,使用 MATLAB 软件对不同算法进行仿真,对于每种算法,初始帧长都选择为 256(帧长按 256, 128, 64, 32...取),待识别标签数从 50 开始,每次增加 50 直到标签数为 1 000,每一种情况都运行 100 次后取平均值来保证仿真结果的有效性。

对于 BFSFA 算法、DFSA 算法、ADFSA 算法和本文算法,待识别标签数由 50~1 000 所需的识别总时隙数如图 4 所示。

由图 4 可以看出,当标签数目逐渐增大时,BFSFA 算法和 DFSA 算法因其自身局限性,所用总时隙数逐渐急剧增

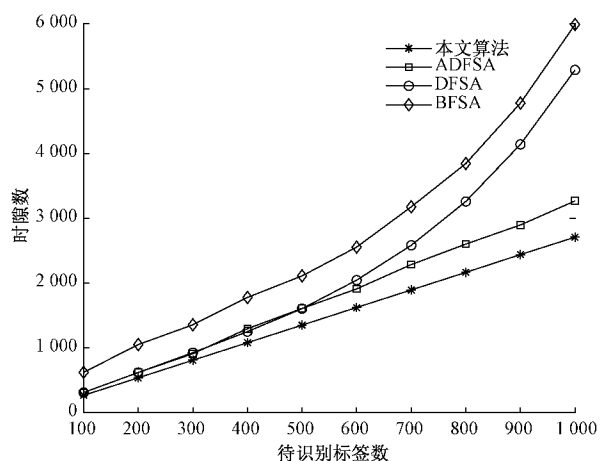


图 4 4 种算法的识别所需总时隙数

加,但 ADFSA 算法和本文算法的总时隙数仍然按照线性增加。并且随着标签数目的增大,本文算法对比 ADFSA 算法的直线斜率更小。当标签数为 1 000 时,由于 DFSA 算法所用时隙数是成指数级增加,所以本文算法所用时间比 DFSA 算法减小了 48.8%,而且比 ADFSA 减小了 17.14%。

当标签数目在 300 以下时,DFSA 和 ADFSA 算法识别所用时间基本一致,但本文算法比上面两个所用的总时隙数更少,DFSA 算法、ADFSA 算法与本文算法在标签数较小时的对比如图 5、6 所示。

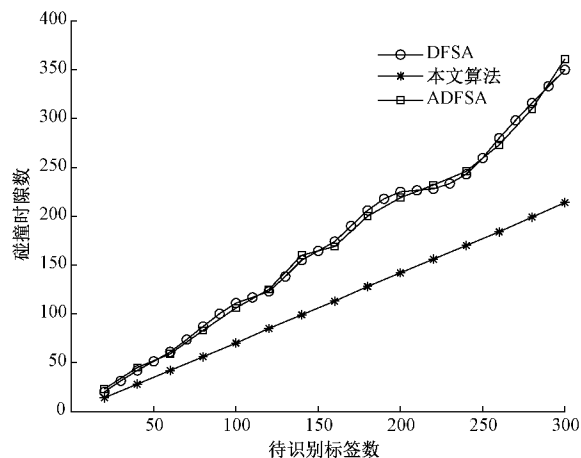


图 5 3 种算法的碰撞时隙数

由图 5、6 可以得出本文算法较之 DFSA 算法,在标签数目小于 300 时仍能够有效减少碰撞时隙数和识别所需的总时隙数。碰撞时隙数的减少在增加标签被成功识别概率的同时也提升了组内识别效率,所以新算法大大改善了 DFSA 算法组内标签识别效率低的问题,性能提升可以达到 11.7%~16.1%。

由图 7 可以看出 DFSA 算法的时隙利用率随着标签数目的增加先增加,当标签数目为 256 时,利用率达到最大,然后逐渐减少,符合 1.1 中的结果。而本文算法的利用率

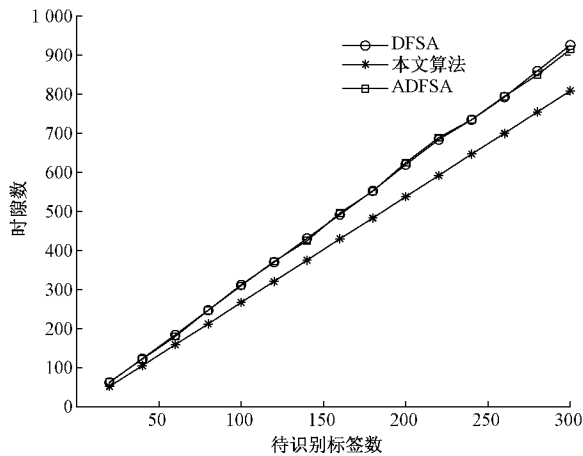


图 6 3 种算法在标签数小于 300 时所用时隙数

一直保持或接近在最大值,所以新算法可以有效缩短识别的总时间。

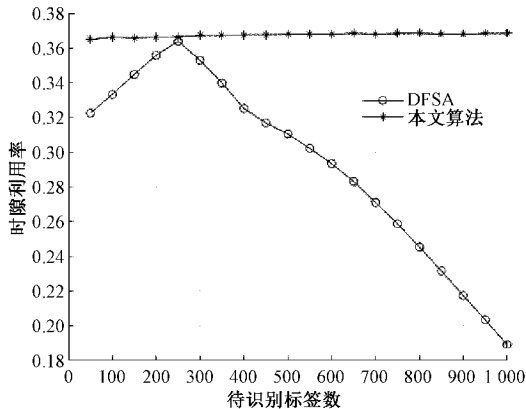


图 7 DFSA 算法与本文算法的时隙利用率

4 结 论

为了解决原有分组 DFSA 算法的不足,根据帧长、未识别标签数目以及识别效率三者间的关系,通过对每一轮应答标签数目进行控制来提升算法性能。在不增加阅读器和标签额外硬件复杂度(如结合 CDMA 技术)的情况下,标签通过混沌伪随机数来生成特征值,与阅读器计算的分组因子对比后选择是否应答。新算法不仅对标签数目较小的情况进行了提升,而且与其他分组算法相比,对标签数目较大的情况也能保证更少的识别时间。

因此,本文提出的算法减少了识别所需的时间,对识别过程中数据碰撞和时间过长的现象也有了明显的改善,能适用于需要阅读器识别时间更小的场景。

但是在本文的研究中依然还存在着需要改进的方面:为了方便与其他算法进行对比,本文使用的是较为传统的标签估计方法,因此可以将本文提出的算法结合目前更为优秀的标签估计算法或者是改进一些标签估计方法来获得更高的系统吞吐率,这也是下一步研究的方向。

参考文献

- [1] SOLIC P, BLAZEVIC Z, SKILJO M, et al. Gen2 RFID as IoT enabler: Characterization and performance improvement [J]. IEEE Wireless Communications, 2017, 24(3):33-39.
- [2] 王超梁,赵成,周鹏. 物联网 RFID 多标签识别防碰撞算法研究与实现 [J]. 物联网技术, 2018, 8(1): 40-41,45.
- [3] WANG H, XIAO S, LIN F, et al. Group improved enhanced dynamic frame slotted ALOHA anti-collision algorithm [J]. Journal of Supercomputing, 2014, 69(3):1235-1253.
- [4] YIM S B, PARK J, LEE T J. Novel dynamic framed-slotted ALOHA using litmus slots in RFID systems[J]. Iccic Transactions on Communications, 2012, E95. B(4): 1375-1383.
- [5] HU M S, LV G N. Anti-collision algorithm for RFID based on dynamic packet query tree [J]. Advanced Materials Research, 2011, 159:550-555.
- [6] JIA X, FENG Q, YU L. Stability analysis of an efficient anti-collision protocol for RFID tag identification [J]. IEEE Transactions on Communications, 2012, 60(8):2285-2294.
- [7] 王泰华,崔志伟,姚学召. 一种改进的 RFID 防碰撞算法 [J]. 电子测量技术, 2016, 39(2):38-41.
- [8] BAGHERI N, ALENABY P, SAFKHANI M. A new anti-collision protocol based on information of collided tags in RFID systems [J]. International Journal of Communication Systems, 2017, 30(3):e2975. 1-e2975. 9.
- [9] 黄刚. 电子标签的防碰撞应用研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(4):372-377.
- [10] KONSTANTINOU N. Expowave: An RFID anti-collision algorithm for dense and lively environments [J]. IEEE Transactions on Communications, 2012, 60(2): 352-356.
- [11] 邹东尧,杨威,陈鹏伟. 一种改进的动态帧时隙 ALOHA 算法 [J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2018, 36(2):184-188.
- [12] 石封茶,崔琛,余剑. 一种新型 RFID 动态帧时隙 ALOHA 算法 [J]. 信息与控制, 2013, 42(5):553-559.
- [13] 宋瑞玲,高仲合. 基于分组动态帧时隙 ALOHA 防碰撞算法研究 [J]. 通信技术, 2013, 46(7):37-39.
- [14] 庞宇,彭琦,林金朝,等. 基于分组动态帧时隙的射频识别防碰撞算法 [J]. 物理学报, 2013, 62(14): 496-503.
- [15] 周艳聪,董永峰,张晶,等. 基于哈希分组的动态帧时隙 ALOHA 防碰撞算法 [J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(2):540-544,551.

- [16] 侯培国,王志轩,严晨. 基于RFID标签的防碰撞算法改进[J]. 计算机科学,2019,46(S2):359-362.

E-mail:15161183568@163.com

作者简介

陈祥营,硕士研究生,主要研究方向为嵌入开发。

朱正伟,博士,教授,主要研究方向为智能检测技术及应用、嵌入式系统及应用。

E-mail:zhuzw@cczu.edu.cn