

一种改进的动态帧时隙 ALOHA 算法

潘雪峰, 曹加恒

(武汉大学 珞珈学院 计算机科学系, 湖北 武汉 430064)

摘 要: 在射频系统应用中, 多标签同时存在的环境下, 阅读器快速准确地鉴别冲突并识别标签、获取信息, 成为提高系统性能的重要途径. 为了解决标签识别过程中的冲突问题, 通过对现有的防冲突算法进行分析, 在动态帧时隙 ALOHA 算法的基础上, 借助扩展的生日悖论概率理论, 提出了一种改进算法. 通过算法仿真, 验证了算法可以有效地提高标签识别的精确度, 减少了识别过程中的时间, 从而提升了射频系统信道的使用效率, 提高了系统性能.

关键词: 射频识别; 动态帧; 时隙; ALOHA 算法; 生日悖论

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2016)06—0095—05

An Improved Dynamic Frame Slotted ALOHA Algorithm

PAN Xue-feng, CAO Jia-heng

(Department of Computer Science, LuoJia College, Wuhan University, Wuhan 430064, China)

Abstract: In the application of radio frequency system, readers can quickly and accurately identify conflicts and identify tags and get information, which is an important way to improve system performance in the presence of multiple tags. In order to solve the conflict problem in the process of tag identification, an improved algorithm is proposed based on the dynamic frame time slot ALOHA algorithm and by using the extension of the birthday paradox probability theory. Through the algorithm simulation, the algorithm can effectively improve the accuracy of tag identification, reduce the time in the process of identification, so as to improve the efficiency of the radio frequency system, improve the performance of the system.

Key words: Radio frequency identification; dynamic frame; time slot; ALOHA algorithm; Birthday paradox

1 引言

射频识别(RFID)系统是一种通过发送 RF 信号来识别标签对象的快速、可靠的技术^[1]. 通过阅读器实现对标签的识别, 在识别过程中, 存在着多个标签, 其中某个标签发射信号时, 可能会与其他标签发射的信号冲突. 冲突发生时, 若阅读器不能立即识别部分冲突的标签, 则此次识别过程失败, 进入再次识别过程, 重复以上步骤, 直到阅读器的询问范围内的所有标签都成功地识别^[2-3]. 根据这一过程可知, 标签冲突会增大标签识别过程的识别时间和消耗的能量.

通常采用防冲突算法来避免标签冲突的情况,

并有效减少冲突发生的概率^[4-5]. 目前防冲突算法主要分为基于 ALOHA 的防冲突算法和基于树的防冲突算法^[6]. 在基于 ALOHA 的防冲突算法中, 阅读器将帧分配给标签, 此帧中包含着阅读时间的时隙数目, 并且每个标签随机选择时隙用于发送其 ID 到阅读器. 当根据标签数量分配的时隙数目被选择时, 可得到基于 ALOHA 的防冲突算法的最佳性能^[7-8]. 相反, 在基于树的防冲突算法中, 由未读标签的数量来确定分支的最佳数量. 由于标签数量是不提供给阅读器的, 因此需要用估计的方法来近似估计出标签的数量. 因此, 所应用的标签估计方法的准确性, 对 RFID 标签识别处理的能力有着直接的影响.

通过对现有的防冲突算法进行分析,在动态帧时隙 ALOHA 算法的基础上,借助扩展的生日悖论概率理论,提出了一种改进算法.最后进行了仿真测试,并给出了实验结果及结论.

2 动态帧时隙 ALOHA 的防冲突算法中标签的估计

在以 ALOHA 为基础的标签识别过程中,阅读器首先发送一帧数据对标签进行查询.接着,在阅读器询问区的每个标签,在帧大小的范围内随机选择一个时隙.然后阅读器逐一扫描时隙.在每帧结束后,根据上一帧的反馈情况,检测标签发生碰撞(识别冲突)的次数、电子标签被成功识别的次数和电子标签在某个时隙没有返回数据的信息的次数,根据这三项来估计当前未被正确识别的电子标签的数目,从而选择下一帧的最佳长度,作为下一轮识别的帧长.

将估计下一帧长度相关的三个元素整合成一个三元组提供给阅读器,三元组为 $\langle C_0, C_1, C_K \rangle$, 其 C_0, C_1, C_K 分别为空闲时隙的数目(无标签)、识别成功的时隙数(仅有一个标签)和发生冲突的时隙数(出现一个以上的标签).借助三元组和帧大小(N),来估计未读标签的数量,以确定下一个读取的周期最佳帧大小.动态帧时隙 ALOHA 算法标签的识别过程如图 1 所示,在第一个读周期,阅读器发送帧大小($N = 3$)的标签,然后所有的标签随机地选择一个时隙.接着,阅读器逐一扫描所有时隙,在第一个读周期后,三个参数为 $C_0 = 0, C_1 = 1$, 和 $C_K = 2$.借助三个参数和所述的第一帧的大小,可以估计下一帧大小为 $N = 5$.在接下来的读周期中,只有阅读器查询标签时才能对标签进行冲突响应.

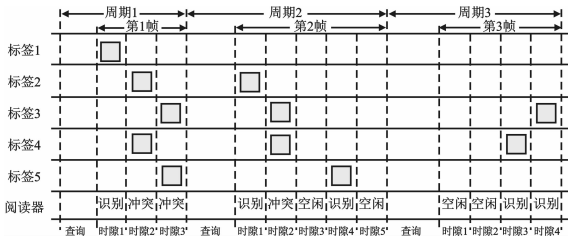


图 1 动态帧时隙 ALOHA 标签识别过程

在上述方法的基础上,又有几种具代表性的方法被提出. Schoute 在 1983 年提出了 Schoute 标签估计法.在该方法中,计算若干涉及冲突时隙标签的期望后验值.平均来说,2.39 个标签是冲突时隙恒定值. Schoute 提供了超过下界的更准确的估计,但

其准确度随着标签数量的增加而急剧下降,原因是 Schoute 标签估计法也估计静态的标签数量.

Vogt 在 2002 年提出的切比雪夫不等式标签估计法.使用读取结果 C 和预期值向量之间的距离来确定的 n 的量,让距离变为最小值的估计函数.切比雪夫不等式的精度水平较高,并随着标签数量的增加,因为涉及到递归具有非常高的计算量.

在 2007 年, Khandelwal 提出空闲时隙标签估计法.这种方法是在空闲时隙概率的基础上产生.空闲时隙的方法与 Schoute 和下界法比较显示出了更高的精确度,当空闲时隙数量增加时,它动态地估计标签的数量.

Wu 和 Zeng 于 2010 年提出贝叶斯标签估计法,通过 $P(n|C)$ 的后验分布更新 n 的先前分布,其中 n 为随机变量.通过风险函数及 $P(n|C)$ 在研究标签范围内计算出标签的概率值.贝叶斯标签估计法在提出的方法中提供了最高的精度,但这种方法也遭受来自递归产生的高计算需求.

对以上四种标签估算方法进行了比较,如表 1 所示,四种标签估计方法的特征如下.

表 1 四种标签估计算法的比较

标签估计算法	方式	精确度	计算要求
Schoute 标签估计法	静态	低	低
切比雪夫不等式标签估计法	动态	高	非常高
空闲时隙标签估计法	动态	高	高
贝叶斯标签估计法	动态	高	非常高

3 扩展的生日悖论标签估计算法

通过对前面几种不同标签估算方法的比较和研究,多种数学规则和概率原则已应用到 RFID 标签数目的最佳估计方法中.接下来,借助扩展的生日悖论概率论的思想,给出一种新的动态帧时隙 ALOHA 算法中标签估算的方法.

3.1 生日悖论概率论思想

在概率论中,生日悖论(问题)是指在给定的 n 个组中随机选择人来查找至少有两个人有相同生日的概率.在限定生日天数上限的前提下,用至少有两个人共享同一天生日的概率,来解决冲突问题.因此, E_n 的值可以用方程(1)来计算,其中, $\alpha = \frac{364}{365}$.

$$E_n = \frac{E_{n-1}}{365} \times E_{n-1} + (1 - \frac{E_{n-1}}{365}) \times (E_{n-1} + 1)$$

$$E_n = 1 + \alpha \times E_{n-1}$$

$$E_n = \frac{1 - \alpha^n}{1 - \alpha} \quad (1)$$

在实际问题中,发生冲突时往往上限数目不能确定.那么将生日悖论问题进行扩展,假设总人数为 n ,那么求 m 个人出现一个共同的生日的问题,则等价成同一范围内出现冲突的问题.

$$E_n = \sum_{m=1}^n f_n^m = \sum_{m=1}^n \frac{\alpha^n}{1 - \alpha} \binom{n}{m} \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right)^m = \frac{1 - \alpha^n}{1 - \alpha} \quad (2)$$

扩展的生日悖论问题中,通过公式计算,不同生日的平均数随人数的增加而变化如图2所示.

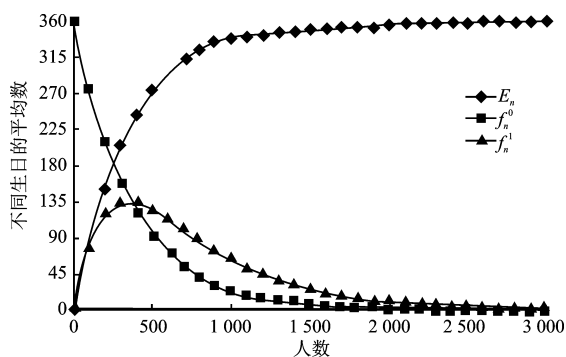


图2 不同生日的平均数与人数间的关系图

3.2 扩展的生日悖论标签估计算法的设计

将 RFID 系统中的标签与扩展生日悖论中查找同生日的人对应,将动态帧时隙 ALOHA 算法中的时隙与天数对应.在 RFID 系统有三种不同的情况的时隙:第一,考虑有可能是在时隙上没有标签,此时时隙是空闲时隙($m = 0$);第二,当时隙是成功识别标签的时隙,只有一个标签发送其 ID 给阅读器($m = 1$);第三,当一个以上的标签在同一时隙发送它们的信号($m > 1$),产生标签冲突.三种情况分别对应动态帧时隙 ALOHA 算法中的三元组 $\langle C_0, C_1, C_K \rangle$.使用扩展的生日悖论概率计算公式能得出三元组中各项的概率值:

$$C_0 = f_n^0 = \frac{\alpha^n}{1 - \alpha} \quad (3)$$

$$C_1 = f_n^1 = n\alpha^{n-1} \quad (4)$$

$$C_K = \sum_{m=2}^n f_n^m \quad (5)$$

考虑实际情况,在空闲时隙时不存在冲突情况,综合准确识别和出现标签识别冲突则有如下公式:

$$C_1 + C_K = f_n^1 + \sum_{m=2}^n f_n^m = \sum_{m=1}^n f_n^m = E_n = \frac{1 - \alpha^n}{1 - \alpha} \quad (6)$$

在 RFID 系统中,每帧结束后可以获得 C_0 、 C_1 和

C_K 的值,那么使用前一次获得的值来估算的下一帧标签的数目(n)比较有效.在实际的 RFID 通信环境中,由于 C_1 的值常被低估,而 C_K 的值又常被高估,导致阅读器不能区分发送错误的冲突,容易产生错误.那么,阅读器不能提供 C_1 和 C_K 的精确值.虽然数字 C_1 和 C_K 很敏感,是容易出错的,但是 C_1 和 C_K 的总和(即 E_n)是准确的,因为低估其中之一(C_1 或 C_K)总是导致高估其他,并且补偿误差,由此得出式(7).那么在 E_n 的基础上估计标签的数量,从而保证易出错信道的精度,并通过分配最优帧大小提供一个高性能的识别过程和减少空闲数字的数目和冲突时隙.

$$E_n = C_1 + C_K \quad (7)$$

4 改进的动态帧时隙 ALOHA 算法

改进的动态帧时隙 ALOHA 算法中,阅读器通过标签估算的结果来确定下一帧的大小.在标签估算的步骤中,所有的现有标签被分配到基于均匀函数的独立的初始帧(给定时隙)上.然后给标签随机分配一个时隙,所有时隙被逐个扫描,同时 C_1 和 C_K 的值被阅读器记录.

标签初始化分配使用的是随机的函数.标签的估计方法的主要目标是更精确地估计标签的数量,以增加系统识别的性能,因此估计步骤在算法中两个动态帧之间实现.

改进的算法流程图如图3所示,其中 RFID 标签识别只要三个步骤:

(1) 阅读器发送其询问区的所有标签的帧大小的查询.然后所有标签随机选择一个时隙;

(2) 阅读器逐一扫描时隙,计算成功和冲突时隙数,并读取成功的标签;

(3) 根据帧大小和 E_n 从第二步中的返回值,估计未读标签的数目,并分配作为新的帧大小.

在应用 RFID 系统的过程中,随着标签数量的增大,冲突发生的可能性急剧增加.因此,为了最大限度地减少冲突事件发生,并更好地发挥 RFID 识别过程的性能,在标签数量的基础上,获得最佳帧的大小,能有效地解决 RFID 标签的冲突问题,提高系统性能.

由于标签的确切数量在具体应用中无法准确提供,在算法实现中要估算标签的数量.扩展生日悖论概率的方法能较准确地估计标签的数量,并经过精确近似值可以确定最优帧大小,增加性能和保证快速识别过程,并实现 RFID 系统的目的.

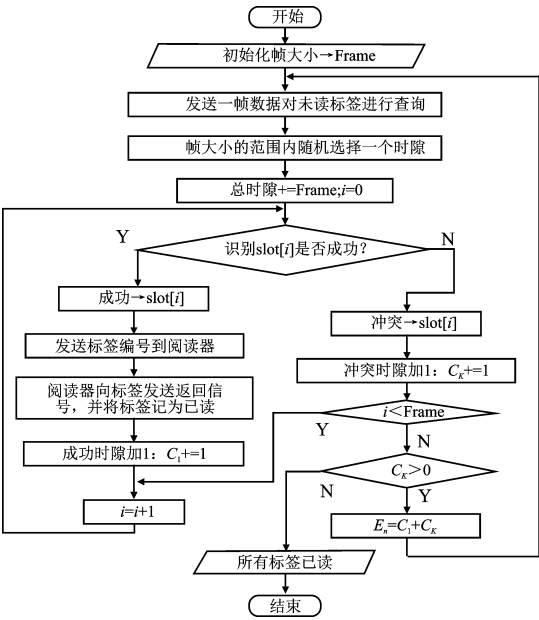


图 3 改进的动态帧时隙 ALOHA 算法流程图

5 仿真测试与分析

为了衡量所提出方法的性能,与以前的算法做了仿真测试,并进行了比较,分别比较了估算误差及精度、信道的使用效率和平均识别时间. 帧大小设置为 128,标签的数量从 100 逐级递增至 1 000 时,对各测试参数进行比较.

5.1 估算误差及精度

在所比较的估计方法中,当标签数量较少时,其估计结果的误差小于 6%,较为准确. 但是,当标签数量增加时,部分算法的错误率有明显增加,其中 Schoute 标签估计法和空闲时隙标签估计法的错误率较高,在标签数量为 1 000 时达到最大值,分别为 75.64%和 69.23%. 随着标签数量增加,切比雪夫不等式标签估计法和贝叶斯估计法的错误率的增长较为平缓. 如图 4 所示,错误率最低的是扩展的生日悖论标签估计算法,其中误差平均值仅为 2.1%.

扩展的生日悖论标签估计算法在所比较的几种方法中,具有最准确的估计结果.

5.2 信道的使用效率

在 DFSA 防冲突算法的帧大小一般是基于标签数量进行选择,但有部分防冲突算法不遵循标准,其假定一个空闲时隙、冲突时隙和成功时隙的持续时间是相同的. 在改进的动态帧时隙 ALOHA 算法中,为了获得较大的效率,三种时隙的持续时间应设置为不同.

仿真过程中,对三种时隙的持续时间可设置为不同的算法进行了比较,所比较的算法是 Schoute 标签估

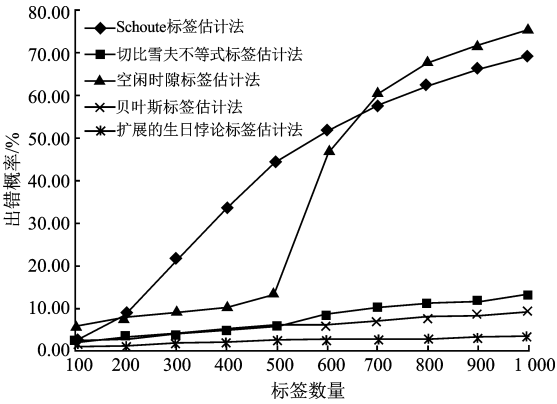


图 4 不同估计方法的误差的比较

计法和切比雪夫不等式标签估计法. 空闲时隙、冲突时隙以及成功时隙的持续时间分别被设定为 50 μ s, 50 μ s 和 400 μ s. 比较了标签的数量从 100 逐级递增至 1 000 时,三种标签的估计方法的信道的使用效率.

信道的使用效率如图 5 所示,最高的信道的使用效率是使用了扩展的生日悖论标签估计算法改进的动态帧时隙 ALOHA 算法,算法提供约 82%的信道使用效率,比另两种算法有一定的提高.

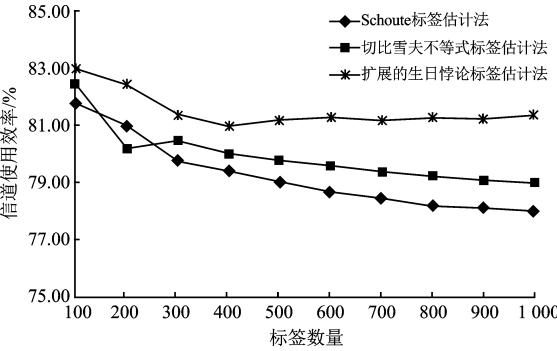


图 5 不同估计方法的信道使用效率的比较

5.3 平均识别时间

提供标签数量的精确估计是所有标签估计方法的主要目标. 更准确估计最优帧大小的选择结果,可以使用最小数目的时间时隙来识别标识标签. 因此,所有的标签估计方法的主要目的是在较短的时间提供快速识别.

采用不同标签估计方法的动态帧时隙 ALOHA 算法确定标签的平均识别时间如图 6 所示. 在图中可以看到扩展的生日悖论标签估计算法的平均识别时间约为 490 μ s,在信道的使用效率的比较中,已设定过一个成功的时隙需要 400 μ s,那么可得平均浪费的时间约为 90 μ s. 而 Schoute 标签估计法和切比雪夫不等式标签估计法的平均浪费的时间分别为 106 μ s 和 102 μ s.

由此可见,扩展的生日悖论标签估计算法在所比较的几种方法中,具有最低的平均浪费时间,即平均识别时间最少。

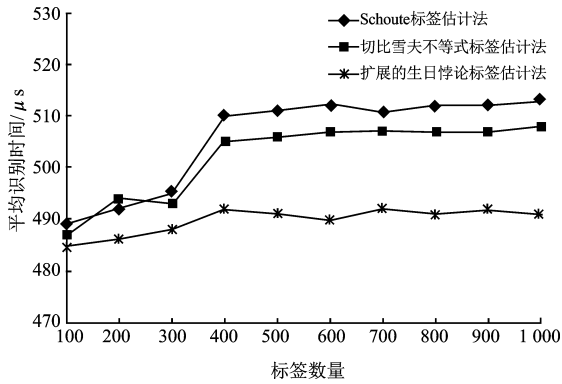


图 6 不同估计方法的标签平均识别时间的比较

6 结束语

通过扩展的生日悖论概率论思想应用到标签估计方法中,提出了一种改进的动态帧时隙 ALOHA 算法.改进后的算法通过选择基于标签准确估计数目的最佳帧大小增加了系统的效率.通过算法的仿真,根据扩展生日悖论概率论思想提出的标签估算方法相对与其他几种估算方法具有较低的平均错误率,减少了标签识别过程中的平均浪费的时间,提高了信道的使用效率,具有良好的性能。

参考文献:

[1] 刘智珺,李腊元. 基于图着色的事务调度算法的设计[J]. 微电子学与计算机,2012,29(4):97-100.

[2] 刘智珺,李腊元,杨少华. 基于双簇头非均匀分簇的 LEACH 协议的改进[J]. 微电子学与计算机,2011,28(11):81-84.

[3] 丁志国,朱学永,郭立. 自适应多叉树防碰撞算法研究[J]. 自动化学报,2010,36(2):237-241.

[4] 陈颖,张福洪. RFID 传感网络中多阅读器碰撞算法的研究[J]. 传感技术学报,2010,23(2):265-268.

[5] 程文青,赵梦欣,徐晶. 改进的 RFID 动态帧时隙 ALOHA 算法[J]. 华中科技大学学报,2007,25(6):14-16.

[6] YU J,LEE W,DU D Z. Reducing reader collision for mobile RFID[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2011,57(2):574-582.

[7] Zhu L,Yum T S P. A critical survey and analysis of RFID anti collision mechanisms[J]. IEEE Communications Magazine,2011,49(5):214-221.

[8] 李萌,钱志鸿,张旭. 基于时隙预测的 RFID 防碰撞 ALOHA 算法[J]. 通信学报,2011,32(12):43-50.

作者简介:

潘雪峰 男,(1980-),硕士,副教授.研究方向为物联网应用,射频识别技术. E-mail:panxuefeng800103@sina.com

曹加恒 男,(1946-),教授,博士生导师.研究方向为物联网应用。

(上接第 94 页)

6 结束语

本文提出的改进型比例积分数字环路滤波器能够根据相位误差的大小,自动调整环路系数,有效地提高了系统线性度. AMS 仿真结果表明,相比于采用传统环路滤波器的时钟数据恢复电路,采用该结构的时钟数据恢复电路的线性度最高可提高 60%。

参考文献:

[1] GuanghaiShu, Saurabh Saxena, et al. A reference-less clock and data recovery circuit using phase-rotating phase-locked loop[J]. IEEE Journal of solid-state circuits, 2014, 49(4): 1036-1047.

[2] Ward S Titus, John G Kenney. A 5.6 GHz to 11.5 GHz DCO for digital dual loop CDRs[J]. IEEE Journal of solid-state circuits, 2012, 47(5): 1123-1130.

[3] Habib Adrang, Hossein Miar-Naimi. Modeling of jitter in bang-bang CDR with Fourier Series Analysis [J]. IEEE

Fransaction on Regular Papers,2013, 60(1): 3-10.

[4] 邓军勇,蒋林,曾泽沧. 高速 CMOS 时钟数据恢复电路的设计与仿真[J]. 微电子学与计算机,2014, 31(11): 56-63.

[5] 杨莉荣,王伟. 基于 FPGA 的数字锁相环设计[J]. 微计算机应用,2009,30(1):68-71.

[6] 刘阳. 基于数字锁相环的低功耗时钟发生器设计[D]. 北京:北京交通大学,2014.

[7] Liming Xiu, Wen Li, Meiners J, et al. A Novel All-Digital PLL With Software Adaptive Filter[J]. IEEE Journal of solid-state circuits, 2004, 39(3): 476-483.

[8] S Sidiropoulos, M A Horowitz. A semidigital dual delay-locked loop[J]. IEEE Journal of solid-state circuits, 1997, 32(11):1683-1692.

作者简介:

胡建来 男,(1990-),硕士研究生.研究方向为数模混合集成电路设计. E-mail:18215548179@126.com.

李磊 男,(1982-),博士,副研究员.研究方向为超大规模集成电路设计。