

基于时隙 ALOHA 的 RFID 防冲突算法及其系统实现方案的分析研究

吴伟贞¹, 黄云鹰¹, 郭栋², 郭东辉^{1,3}

- (1. 厦门大学信息科学与技术学院, 361005 福建省厦门市
2. 福建新大陆电脑股份有限公司, 350000 福建省福州市
3. 厦门睿智微电子有限公司, 361005 福建省厦门市)

摘要: 无线射频识别系统要实现同时阅读现场多个 RFID 标签的关键技术在于找到防冲突算法来解决 RFID 标签发送数据的冲突问题。本文首先对基于时隙 ALOHA 的各种防冲突算法进行研究比较和分析, 然后给出仿真结果; 接着, 说明各种不同的标签预测方法和信息帧设置调整方法对系统响应时间和识别效率的影响; 最后, 针对自适应调整方法的防冲突算法及其实现方案进行了进一步仿真分析。

关键词: 防冲突算法; 无线射频识别; ALOHA; 标签预测; 帧长调整; 自适应调整

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Study of Slotted ALOHA based Anti- collision algorithm in RFID and its system implementation

WU Wei- zhen¹, HUANG Yun- ying¹, GUO Dong², GUO Dong- hui^{1,3}

- (1. School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen, 361005, China
2. Fujian New World Computer Ltd, Fuzhou, 350000, China
3. Xiamen Rich IT Microelectronic Technologies LTD, Xiamen 361005, China)

Abstract: The key technology in reading multiple tags simultaneously is to find an Anti- collision algorithm to solve the data transmission collision in RFID system. This paper first studies several Slotted ALOHA based Anti- collision algorithms, then compares, analysis and gives out the simulation results; Second, the paper evaluates the influence on the total delay of identification and system efficiency when we try in different ways on tag estimation and frame size adjustment; Finally, the paper further simulates and analyses the adaptive adjustment Anti- collision algorithm, and gives out the results as well.

Key words: Anti- collision algorithm; RFID; ALOHA; Tag Estimation; Frame Size Adjustment; Adaptive adjustment

1 引言

无线射频识别 (RFID, Radio Frequency Identification) 技术是近年来应用发展迅速的一种利用射频通讯方式实现的无线非接触式身份识别技术。RFID 技术应用系统[1]主要是由 RFID 标签、标签阅读器及相应的计算机系统组成的, 当系统要阅读现场贴有 RFID 标签的对象时, 系统由标签阅读器向 RFID 标签发送特定频率的电磁波, RFID 标签经电磁波的触发将内部存储的身份识别码信息送出, 这样系统通过标签阅读器识别货物并进行相应的信息处理。但是, 如果有多个 RFID 标签接收到电磁波并同时发送信息, 则标签阅读器接收到的信号就会互相干扰, 不可避免地出现标签阅读冲突问题[1]。

目前解决 RFID 标签阅读冲突问题主要是基于两种防冲突算法即[1,2]: 基于时隙 ALOHA 的防冲突算法和基于树结构的防冲突算法。其中, 前者是采用随机选择发送时间的方式, 系统识别的可靠性相对差一些, 但易于设计兑现; 后者则采用二叉树的搜索算法, 系统识别的可靠性较高, 但系统兑现时需要与 RFID 标签的识别码信息相联系, 硬件设计较为复杂。因此, 低成本的 RFID 标签一般是采用基于时隙 ALOHA 的防冲突算法来设计的, 如何提高该算法系统识别的可靠性是目前低成本 RFID 标签应用系统研究重点。

本文将首先介绍基于时隙 ALOHA 的 RFID 防冲突算法的基本实现原理, 分析说明该算法的关键模型参数, 指出设计该算法系统兑现的关键在于现场 RFID 标签数预测和时隙帧长度确定问题, 然后具体介绍几种不同的标签预测实现方案, 并进行系统识别的性能仿真与分析, 最后总结出各种情况下相对比较可行的系统实现方案。

2 基于时隙 ALOHA 的 RFID 防冲突算法

时隙 ALOHA 算法 (Framed Slotted ALOHA) 简称 FSA 是一种随机时分多址方式[9]的用户信息通讯收发算法, 它将信道用信息帧表示, 把信息帧分成许多时隙 (slot), 每个标签随机选一个时隙来发送自己的识别码信息。在整个信息帧的时间内每个 RFID 只响应一次, 如图 1 所示。

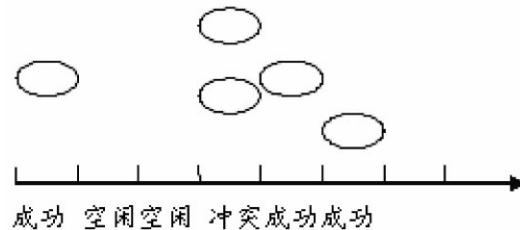


图 1 时隙 ALOHA 算法的信息帧时分多址示意图

图 1 中每个圆圈代表一个 RFID 标签发出的识别码信息, 这样阅读器在整个信息帧接收过程中遇到的标签回复有 3 种情况, 即: 成功、空闲、冲突, 它们可能分别代表在某个时隙内是一个标签、没有标签或两个以上标签的应答。

实际情况中, 由于各标签距阅读器距离不同, 近距离标签发送的信息可能覆盖了远距离标签发出的信息, 即使是时隙冲突, 阅读器也可能正确识别近距离标签的信息。同样, 由于其他环境噪声的影响, 即使在一个时隙内只有一个 RFID 标签应答, 阅读器也可能无法阅读成功。在不考虑这两种不理想条件即捕获效应和环境噪声的影响[4], 若整个信息帧的时隙数设定为 F , 则阅读 N 个 RFID 标签时每个信息帧内成功、空闲和冲突的时隙数分别为:

$$\begin{aligned} k &= N \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{N-1} \\ o &= F \left(1 - \frac{1}{F}\right)^N \\ k &= F - o - 1 \end{aligned} \quad (1)$$

因此, RFID 系统的阅读吞吐率也称识别效率即阅读器在一个信息帧长的时间内能成功识别标签数所占的比例可以表示为:

$$S = \frac{N}{F} \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{N-1} \quad (2)$$

图 2 中给出利用 Matlab 仿真的 RFID 系统阅读 100 次积累的识别结果, 其中系统仿真设定的信息帧长即时隙数设定按 2 的幂次方递增, 即 F 取值从 16 到 256 变化, 横坐标为标签数 N 从 1 到 1000 变化, 纵坐标为阅读吞吐量。可以看出当标签个数接近

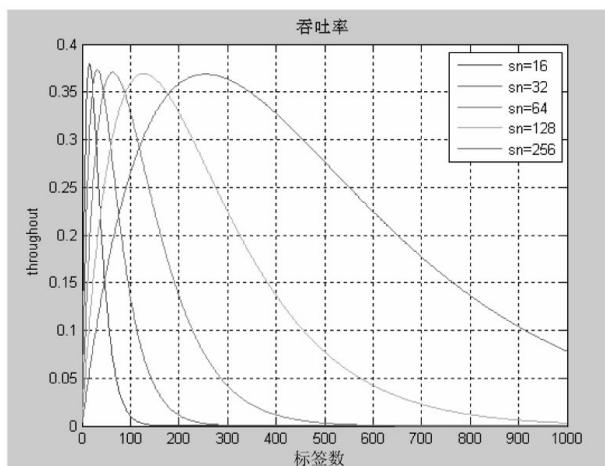


图 2 RFID 系统防冲突算法的吞吐量仿真结果

信息帧长时, 系统的吞吐量比较高, 这与式 (2) 的结果是一致的, 即最大阅读吞吐量可通过式 (2) 对 F 进行微分即 dS/dF $F=N=0$ 得到。

3 RFID 标签数预测 与信息帧设定实现方案

在 RFID 系统应用时, 系统阅读器读取的 RFID 标签数往往是未知的。根据上面 RFID 多标签阅读的防冲突算法分析结果上看, 要实现具有解决 RFID 防冲突算法功能的系统方案, 系统需要先进行现场的 RFID 标签数预测^[6]。通常可以通过以下几种预测方法来实现:

1) 最小预测 (lowbound) ^[6,14]: 即系统阅读有冲突出现的话, 至少有 2 个以上的标签存在, 可以预测发生冲突的标签个数至少为 $2 * ak$ 。

2) Schout 预测^[4,6,12,13]: 若在每个信息帧中每个标签选择时隙符合 $\lambda=1$ 的泊松分布, 则信息帧中各冲突时隙平均响应的标签个数约为 2.39, 这样可以预测未识别的标签数为 $2.39 * ak$ 。

3) Vogt 预测^[2,11]: 它是通过比较实际的成功、空闲、冲突时隙数与理论的成功、空闲、冲突时隙数得出误差最小的结果来预测未知标签数, 即:

$$= \min_N \left| \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_k \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ k \end{pmatrix} \right| \quad (3)$$

其中, c_1 、 c_k 、 c_0 为实际测得的成功、空闲、冲突时隙数值。在标签数 N 取值范围 $[C_1+2 * CK, \dots, 2 * (C_1+2 * CK)]$ 内找到最小的值, 所对应的 N 值就是预测的标签数。

图 3 分别给出采用 Lowbound、Schout、Vogt 三种不同的标签数预测实现方案的系统仿真结果, 它们均先预测确定现场可能的标签数后再来设定最佳信息帧长度, 并重复阅读 100 次。与 FSA (即信息帧长度固定为 256) 相比, 可以看出基于标签数预测的系统, 系统阅读吞吐量有明显改善。

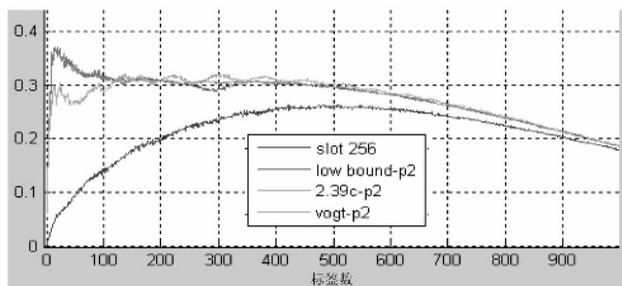


图 3 3 种预测方案的吞吐量仿真结果比较

但是总的来说, 对于现场有大量标签 (特别是标签数大于 500) 时, 采用式 (2) 由预测标签数来设置最佳信息帧长度的实现方案显然是不合适的。因此, 有人提出了采用分组应答响应的方法^[7]来实现, 即当标签数超过 354 个时, 将标签进行分组, 选择 1 组的先应答, 识别完 1 组之后再识别 2 组……, 分组数和标签数目的关系如表 1。

表 1 分组算法的标签和信息帧长的关系^[7]

帧长 (组别)	8 (1)	16 (1)	32 (1)	64 (1)	128 (1)	256 (1)	256 (2)	256 (4)
标签数 (最少)	1	12	20	41	82	177	355	708
标签数 (最多)	11	19	40	81	176	354	707	1416

图 4 是对现场有大量标签 (大于 500) 时采用分组算法和 Lowbound、Schout、Vogt 的预测方案比

较仿真结果。可以看出采用分组算法的系统吞吐率在标签数大于 500 的时候可以达到很高, 而其它几种则降得很快。因此如果用在大规模的标签识别时使用分组算法可以有效的提高系统的识别效率。

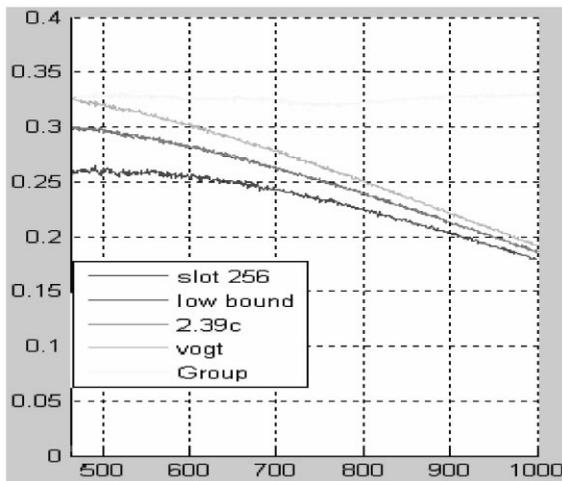


图 4 大数量标签数的吞吐率仿真结果比较

4 自适应信息帧时隙设置

从前面分析与仿真结果上看, 要获得最高的吞吐率或最佳识别效率, 先得预测获得可能的标签数, 并设置最佳的信息帧长度^[5]。但是, 任何 RFID 系统在不同场合要识别的标签数的变化范围很大, 要直接预测标签数并设置好最佳信息帧长度在实际电路实现系统设计是比较复杂, 且带来额外功耗^[8]。事实上, RFID 系统中常用 2 的 n 次幂作为信息帧长度, 其中 n 取 1 到 8 (即最大的帧长为 256, 最小为 2, 但更多最小取 16), 如 Vogt 预测^[11]提出的帧长和标签数的关系如表 2, 当标签个数在 1-9 之间时, 帧长采用 16。

表 2 vogt 建议的标签数和帧长的关系^[11]

帧长	1	4	8	16	32	64	128	256
标签数 (最少)	-	-	-	1	10	17	51	112
标签数 (最多)	-	-	-	9	27	56	129	∞

为了简化实际电路的兑现设计, 通常采用基于标签数预测的幂指数信息帧长度设置方法, 如在最新的 EPC Gen2 标准^[15]中采用了 Q-Algorithm 的自适

应信息帧时隙设置方案, 即当一个帧中出现过多的冲突时隙时, 阅读器提前结束该帧发送一个新的更大的帧; 当一个帧中出现过多的空闲时隙时, 此帧也不是最佳的帧, 阅读器提前结束该帧发送一个新的小的帧。具体实现方案如图 5 所示。

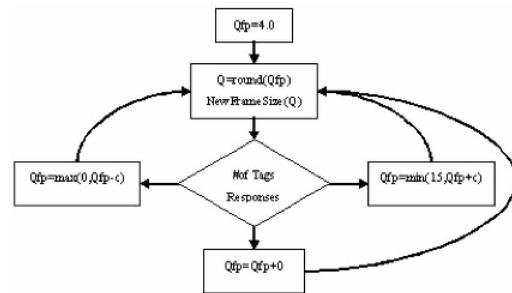


图 5 Q-Algorithm 的实现流程框图

图 5 中参数 Q 、 Q_{fp} 和 c 均为正整数, 信息帧长度为 $F=2^Q-1$, Q 是动态变化的, 初值取 $\text{round}(Q_{fp})$ 。一个时隙之后, 若该时隙是冲突时隙, 则将 Q_{fp} 加上参数 c ; 若是空闲时隙, 则将 Q_{fp} 减去参数 c ; 若是成功时隙, 则 Q_{fp} 保持不变。阅读器根据新的 $Q=\text{round}(Q_{fp})$ 来决定是继续发送下一个时隙还是重新开启一个新的帧。

EPC Gen2 采用 Q-Algorithm 在标签数变化很大的范围内要实现高吞吐率主要取决于参数 c 的取值。 c 太大会造成帧长变化过于频繁, 太小又不能迅速的实现最佳帧的选择。在 EPC 标准中 c 的取值并未规定, 因此必须找到合适的 c 取值。文献^[8]中帧长小于 64 的全部取 c 最大值 0.5, 帧长 64 到 512 之间 c 值取线性减小变化, 帧长大于 1024 的全部取 c 最小值 0.1。该取值方法比较简单且符合实际, 实现结果也较理想, 如图 6。图 6 中 x 轴是标签从 1 到 1000 变化, y 轴左边图形显示识别一个标签所需的平均时隙数为 3, 右边图形显示在标签数大范围的变化内都保持较高的吞吐率。文献^[9]中提出了另外一种方案, 时隙冲突和空闲时所取的 c 值不等, 但成一定比例, 这种方案相对复杂。

采用 EPC Gen2 标准中的算法优势一是系统的总体识别时间较少, 系统吞吐率高; 二是阅读器中初始帧长值 (即 Q 值) 的设置不受限制, 如图 7。图 7

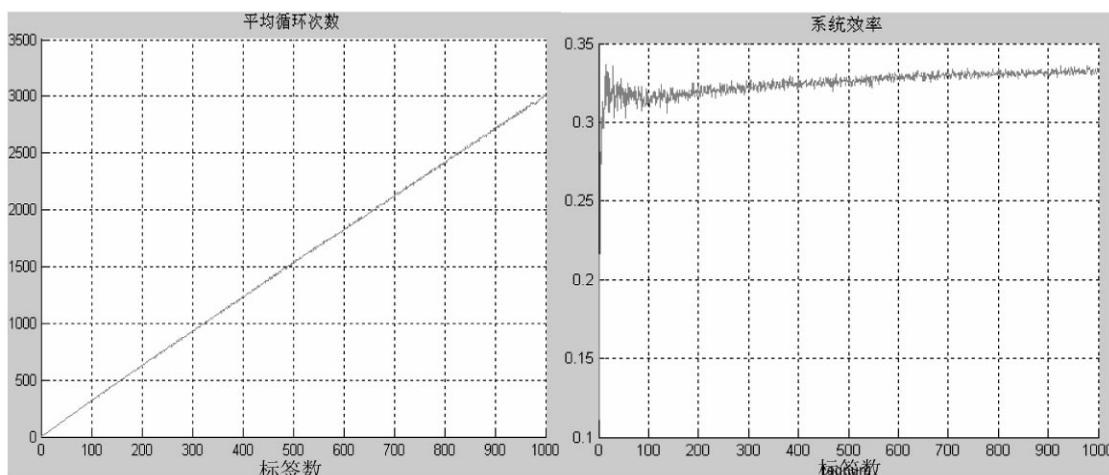


图 6 Q Algorithm 的仿真结果

中横轴 1 和 2 分别代表标签数 200 个和 400 个, Q 初值分别取 1-8 的变化, 发现最终的识别时间几乎无差别, 这主要就是算法自适应调整的优势。采用 EPC Gen2 标准中的算法劣势是系统由于调整帧长过于频繁而造成功耗的增加^[10]。

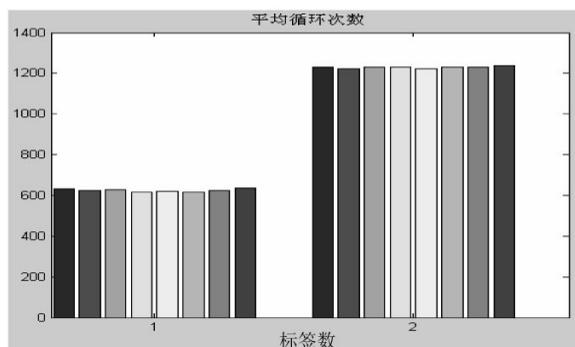


图 7 Q 初值不同的影响比较

5 总结

防冲突算法是射频识别系统实现标签快速识别的关键。本文通过对现有几种代表性的防冲突算法的比较研究, 对防冲突算法有更加深刻的理解。Vogt 提出的预测识别范围内所有标签的机制, 预测准确度高; 分组算法采用幂次变化帧长且系统的识别时间短, 吞吐率高, 非常适合实际的应用; EPC Gen2 标准提出的 Q-Algorithm 算法使系统能自适应的调整, 识别效率高, 在超高频射频识别系统中得到广泛

的应用。

参考文献

- [1] Klaus Finkenzeller 著. 射频识别技术[M]. 第三版. Beijing: 电子工业出版社, 2006.
- [2] Maurizio A. Bonuccelli, Francesca Lonetti, Francesca Martelli. Instant collision resolution for tag identification in RFID networks[A]. Ad Hoc Networks, Elsevier, Volume 5, Issue 8, November 2007
- [3] L. Burdet. RFID multiple access methods[A]. Technical Report ETH Zurich, 2004.
- [4] FRITSC. SCHOUTE. Dynamic Frame Length ALOHA[A]. IEEE Transaction on Communications, 1983
- [5] Jae-Ryong Cha, Jae-Hyun Kim. Novel Anti-collision Algorithms for Fast Object Identification in RFID System [A]. in Proc. International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2005
- [6] Christian Floerkemeier. Transmission control scheme for fast RFID object identification [A]. IEEE PerCom Workshop on Pervasive Wireless Networking, Italy, March 2006
- [7] Su-Ryun Lee, Sung-Don Joo, Chae-Woo Lee. An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification[A]. Proceedings of the Second Annual International Conference on Mobile and Ubiqui-

tous Systems: Networking and Services, San Diego, CA, USA, July 2005

[8] Inwhee Joe, Juno Lee. A Novel Anti-Collision Algorithm with Optimal Frame Size for RFID System[A]. 2007. SERA 2007. 5th ACIS International Conference, 2007

[9] Donghwan Lee, Kyungkyu Kim, Wonjun Lee. Q - Algorithm: An Enhanced RFID Tag Collision Arbitration Algorithm[J]. Computer Science, 2007, Volume 4611: 23-32

[10] Jianwei Wang, Dong Wang, Yuping Zhao. A Novel Anti-Collision Algorithm with Dynamic Tag Number Estimation for RFID Systems[A]. Communication Technology, 2006. ICCT '06, Nov. 2006

[11] Harald Vogt. Efficient Object Identification with Passive RFID Tags[A]. in Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC '02), Hammamet, Tunisia, October 2002

[12] Qiading Tong, Xuecheng Zou, Dongsheng Liu, et al. Modeling the Anti-collision Process of RFID System by

Markov Chain[A]. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007

[13] Christian Floerkemeier, Matthias Wille. Comparison of Transmission Schemes for Framed ALOHA based RFID [A]. Applications and the Internet Workshops, 2006. SAINT Workshops 2006

[14] Tae-Wook Hwang, Byong-Gyo Lee, Young Soo Kim, et al. Improved Anti-collision Scheme for High Speed Identification in RFID System [A]. Innovative Computing, Information and Control, 2006. ICICIC '06

[15] EPCTM Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz Version 1.1.0 Draft 1, EPCglobal Inc, 2005

作者简介

吴伟贞, 硕士生, 研究方向为无线射频识别;
郭东辉, 教授, 博士生导师。

上接第 84 页

在 2008 年形成一个增速高点。然而无论整机产量还是集成电路市场, 市场基数都已经处在一个比较高的水平, 增长具有饱和的趋势。因此, 未来中国集成电路的发展速度还是会逐渐减缓, 而且随着中国市场占全球市场比重的增长, 二者的增长趋势将基本保持一致, 虽然中国市场的增长率在未来几年仍然将会高于全球市场的增长率, 但二者增长率将逐渐

靠拢。

未来 5 年, 虽然中国集成电路市场发展速度将逐渐减缓, 但仍将高于全球市场, 预计 2008~2012 年中国集成电路市场的复合增长率将达到 16.2%。到 2011 年, 中国集成电路市场规模将首次突破万亿元大关, 达到 10806 亿元。CIC

Vishay 推出新型 30V TrenchFET 功率 MOSFET

日前, Vishay Intertechnology, Inc. 推出新型第三代 TrenchFET 功率 MOSFET 系列的首款器件。新型 TrenchFET 第三代 S7192DP 是一款采用 PowerPAK SO-8 封装的 N 沟道器件, 在 4.5V 栅极驱动电压下具有 2.25 毫欧的最大导通电阻。导通电阻与栅极电荷乘积是 DC-DC 转换器应用中 MOSFET 的关键优值系数 (FOM), S7192DP 器件的 FOM 值为 98——创造了任何采用 SO-8 封装的 $V_{DS} = 30V$ 、 $V_{GS} = 20V$ 器件的新的业界纪录。S7192DP 将作为同步降压式转换器及次级同步整流和 OR-ing 应用中的低端 MOSFET, 其低导通及低开关损耗将有助于稳压器模块 (VRM)、服务器及采用负载点 (POL) 功率转换器的众多系统实现更高能效且更节省空间的设计。