

文章编号 1004-924X(2014)09-2580-05

## 优化结合二叉树和帧时隙 ALOHA 的防碰撞算法

梁士利\*, 徐美玲, 林青, 官珊, 赵星博  
(东北师范大学物理学院, 吉林长春 130024)

**摘要:**分析和比较了现有无线射频识别(RFID)中采用的防碰撞算法存在的问题,提出了一种优化结合二叉树(BT)和帧时隙 ALOHA 的新的防碰撞算法。提出的算法在阅读器与标签开始通讯时采用帧时隙的 ALOHA 算法,当有时隙发生碰撞时采用 BT 算法对其进行进一步识别。该算法根据曼彻斯特译码得到碰撞位,通过估算一帧中可能出现的碰撞情况,运用数学推导并通过 R 软件编程计算给出数学期望值。仿真实验显示:提出的算法充分发挥了两种算法的优点,其搜索次数、传输时延、吞吐率等重要指标都明显优于 ALOHA 算法,尤其是新的防碰撞算法的吞吐率比 ALOHA 算法提高了近 50%。另外,传输负担的减小还使数据传输的安全性有了更高的保障。

**关键词:**无线射频识别;防碰撞算法;二叉树;ALOHA 算法;帧时隙

**中图分类号:**TP301.6;TN92 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142209.2580

### Mixed frame anti-collision algorithm based on binary tree and frame time slot ALOHA

LIANG Shi-li\*, XU Mei-ling, LIN Qing, GONG Shan, ZHAO Xing-bo

(Department of Physics, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

\* Corresponding author, E-mail: lsl@nenu.edu.cn

**Abstract:** The current anti-collision algorithms for Radio Frequency Identification (RFID) was analyzed and compared, and an optimized mixed frame anti-collision algorithm based on the binary tree and frame time slotted ALOHA was presented to resolve the problems in traditional algorithms. In proposed algorithm, the frame time slot algorithm was used to identify collision time slot when a reader communicated with the labels. However, if the collision labels have happened in the one time slot, the binary tree algorithm was used to make a clear distinction. By using the Manchester decoder to get collision location, the states of collision was estimated in one time slot, then the mathematical expectation was obtained by using mathematical deduction and R software programming. The simulation shows that the proposed mixed algorithm gives full play to the advantages of the two algorithms, its throughput rate, searching time and transmission delay are all superior to that of the traditional algorithm, especially, the throughput rate is nearly higher 50% than that of the ALOHA algorithm. Moreover, the data transmission shows higher security by decreasing of the burden of other transport.

**Key words:** Radio Frequency Identification (RFID); anti-collision algorithm; binary tree; ALOHA algorithm; frame time slot

收稿日期:2014-07-25;修订日期:2014-08-04.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61370228);吉林省科技发展计划支持项目(No. 201105003)

# 1 引言

无线射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 通过交变电磁场实现无接触识别,是继互联网之后 21 世纪最有发展潜力的技术之一。目前 RFID 技术中还存在一些制约其发展的瓶颈问题,比如信息传输的安全问题,协议的问题以及防碰撞问题等,其中阅读器与标签通讯时发生碰撞会导致阅读器无法识别,即所谓防碰撞问题更令人关注。现存的防碰撞算法主要有两种,即 ALOHA 算法和二叉树 (Binary Tree, BT) 撞算法。其中:ALOHA 算法的缺点是会有丢标签无法识别的情况,而二叉树算法虽然可以遍历到每一个标签,克服了“死标签”的问题,但它具有算法复杂,周期长等缺点。

目前,人们在现有的两类防碰撞算法的基础上提出了很多新的进步算法。文献[1]提出了一种基于时隙的 ALOHA 算法,是一种标签的不完全碰撞问题;CHA J R 在文献[2]进一步给出了动态帧时隙下的防碰撞算法,避免了再选择碰撞标签时隙对其他标签读取的影响,并且可根据标签的情况动态改变时隙数。基于二叉树的防碰撞算法[3]主要指二叉树搜索算法 (BS)。其运行时阅读器根据标签返回的信号进行搜索,每识别一个标签就返回到起始点。YUSS[4-9]在 BS 算法的基础上研究出一种动态 BS (DBS) 算法,从而有效减少了搜索次数和传输时延。本文提出了一种优化结合了二叉树 BT 和帧时隙 ALOHA 的防碰撞新型算法。该算法在吞吐率、搜索次数、传输时延方面都有显著优越性。

## 2 新型防碰撞算法

### 2.1 算法思路

本文从全局出发考虑标签的碰撞问题。在一个稳定的环境下运行该算法时,标签数和时隙数相当时采用帧时隙算法,这时的吞吐率达到最高,可对标签进行随机读取。对于碰撞时隙则不再进行随机选择读取,而是采用比较先进的二叉树算法进行读取。

### 2.2 新型防碰撞算法的识别过程

当标签进入阅读器识别范围内时,标签根据自己随机生成的序列号在阅读器分配的时隙中

择一个,随机读取。这里用来举例的 5 个标签分别是 10110010、10100011、10100010、10110011、11100011。

通过帧时隙算法对标签进行随机读取,目的是在一定程度上减少第二步二叉树算法中碰撞标签的数量。帧时隙读取标签过程如图 1 所示。假设一帧内有  $m$  个时隙, $n$  个标签,则  $k$  个标签可以成功识别的概率为:

$$P_{n,m}^k = \frac{C_n^k A_m^k [(1 - P_{n-k,m-k}^i)^{m-k} k^{(n-k)}]}{m^n} \quad (1)$$

表 1 5 个标签随机读取过程

Tab. 1 Random reading process of five lables

	时隙 1	时隙 2	时隙 3	时隙 4
10110010			10110010	
10100011	10100011			
10100010			10100010	
10110011				10110011
11100011			11100011	
			1x1x001x	

由于时隙数与标签数要相当,这里从标签数为 4 时开始计算。假设时隙是 8,标签数为 4,成功读取的标签数为  $k$ ,那么成功读取标签的期望如表 2 所示:

表 2 标签数为 4 时,各标签读取成功的概率

Tab. 2 Probability of each lable successful reading with 4 lables

$k$	0	1	2	3	4
$P$	22/512	28/512	252/512	0	210/512

表 3 标签数为 5 时,各标签成功读取的概率

Tab. 3 Probability of each lable successful reading with 5 lables

$k$	0	1	2	3	4	5
$P$	71/4 096	665/4 096	420/4 096	2 100/4 096	0 840/4 096	

以此类推,由此可得出当时隙为  $m$  个,标签数为  $n$  时,成功读取的标签数  $k$  的期望值为:

$$E(P_k) = \sum_{k=0}^n k \cdot P_k \quad (2)$$

通过 R 软件编程得到不同  $m$  不同  $n$  时,识别出不同标签数的概率列表,由此表可以查出任意

情况的期望值。

设一帧内没有被读取的标签数为：

$$E'(P_k) = n - \sum_{k=0}^n k \cdot P_k \quad (3)$$

对于没有被成功读取的标签,原因可能有很多种情况,比如 2 个甚至多个时隙的碰撞等等。假设所有碰撞标签的碰撞都发生在同一个时隙内,那么采用二进制搜索算法的搜索次数为：

$$Q(n) = 2n' - 1 \quad (4)$$

识别过程中数据碰撞的次数为  $C(n)$ , 则有<sup>[5]</sup>：

$$Q(n) = C(n) + n \quad (5)$$

$$Q(n) = 2n - 1 \quad (6)$$

在本算法中,碰撞的标签数  $n$  变为  $C(n) + n$ , 相应的传输时延、吞吐率都有所优化。进入到 BS 算法识别后,其算法过程为：

第一次：阅读器将发出 11111111 (REQUEST)命令,如果发生碰撞,并且 3 个标签均小于等于 11111111 电子标签,则这些标签的 ID 被发送给阅读器,应用 Manchester 编码得到 1x1x001x,下一次命令为(01010001,0)。

第二次：阅读器将命令(01010001,0)发送出去,锁定碰撞标签的碰撞位  $D_0$ 、 $D_4$  和  $D_6$ ,分别是 010、001 和 100。这时只有前两个标签应答。返回自己的剩余位,分别是 10,01。阅读器译码为 0xx,下一次阅读器发送的命令为 REQUEST(00)。

第三次：对于这个节点,阅读器发送 REQUEST(00)命令时,没有碰撞的 001 相应标签做应答,阅读器与此标签进行通讯,通过 UNSELECT 命令将其屏蔽,使其处于“静默”状态,然后再返回这个碰撞节点,处理另一个分支,发送下一次命令 REQUEST(01)。

第四次：阅读器发送 REQUEST(01)命令,010 对应的标签响应,其没有发生碰撞,同阅读器进行数据传输,然后令其进入“静默”状态。那么这一碰撞节点处理完毕,回到上一碰撞节点阅读器发送命令 REQUEST(1)。

第五次：阅读器发送命令 REQUEST(1),则 100 对应的标签响应,没有发生碰撞,和阅读器进行数据传输,读写结束后执行 UNSELECT 命令,令其“静默”。至此,所有标签读取完毕。

整个过程的树形结构图如下：

新型防碰撞算法识别过程

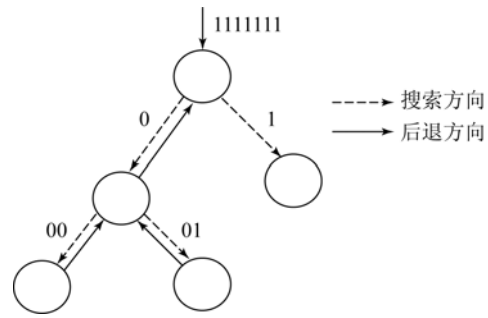


图 1 结合的二进制搜索算法树形图

Fig. 1 Tree diagram of searching algorithm combined with binary

### 3 新型防碰撞算法的性能分析与仿真

#### 3.1 阅读器搜索次数分析

BS 和 DBS 算法识别  $n$  个标签的搜索次数为：

$$Q_{BS} = Q_{DBS} = n(\text{Integ}(\log_2^n) + 1) \quad (7)$$

式中:  $\text{Integ}()$  表示向上取整。而新型防碰撞算法中的  $n$  变成了  $n'$ 。新型防碰撞算法的搜索次数为：

$$Q_{\text{new}} = 2n' - 1 \quad (8)$$

由于新型防碰撞算法结合了固定帧时隙算法,本文针对不同时隙不同标签数采用描点法作图,将其与 BS 和 DBS 算法的搜索次数进行比较,如图 2 所示。

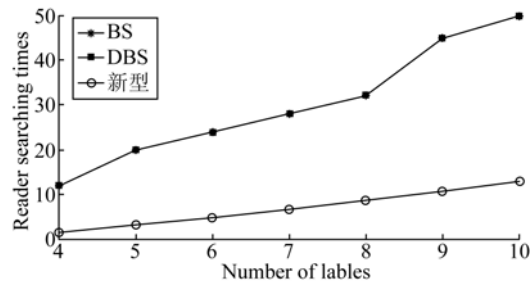


图 2 二进制算法(BS)、动态二进制算法(DBS)和本方法的阅读器搜索次数对比

Fig. 2 Comparison of searching times for three methods

通过以上比较得出:新型防碰撞算法的搜索次数优于 BS 算法和 DBS 算法,而且标签数越多,优势越明显。

#### 3.2 传输时延分析

文献[5-6]指出,对于  $n$  个待识别标签,其 ID 中至少有  $\text{Integ}(\log_2^n)$  个比特位置不一致。

如果有  $n$  个标签的 UID 长度均为  $k$  比特,碰

撞的比特位数为  $x$ , 则  $x$  的取值范围为  $[\text{Integ}(\log_2^n), k]$ 。

假设搜索的 UID 长度都为  $k$  比特, 则 BS、DBS 和新型防碰撞算法的传输过程中传输的所有比特长度之和分别为:

$$L_{BS} = (2k+21) \cdot [n \cdot \text{Integ}(\log_2^n)] + (2k+23) \cdot n, \quad (9)$$

$$\Gamma_{BS} = \frac{L_{BS}}{v} = \frac{(2k+21) \cdot [n \cdot \text{Integ}(\log_2^n)] + (2k+23) \cdot n}{v}, \quad (12)$$

$$\Gamma_{DBS} = \frac{L_{DBS}}{v} = \frac{(3k+44)n + (k+21)[n \cdot \text{Integ}(\log_2^n) - n]}{v}, \quad (13)$$

$$\Gamma_{NEW} = \frac{L_{NEW}}{v} = \frac{3k - 2x - 21 + (2x+44)n}{v}, \quad (14)$$

防碰撞命令格式为 SEL+NVB+UID, 其中 SEL 表示命令码; NVB 表示传输的有效位数; UID 表示满足要求的 RF 终端序列号。因此, 传输时延取决于阅读器发送的搜索次数和每次发出的搜索 UID 长度。假设传输速率是 100 kbit/s, 标签长度为 64 bit, 发生碰撞的比特位数  $x$  取中间值  $\frac{\text{Integ}(\log_2^n) + k}{2}$  时, 不同算法传输时延标签变化关系如图 3 所示。

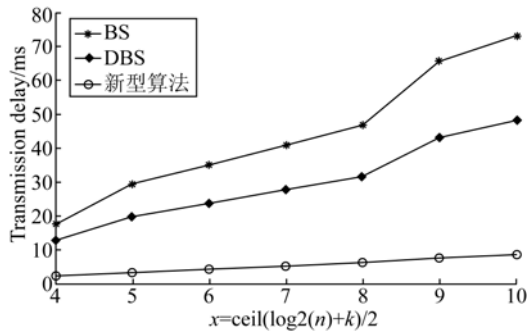


图 3 新型算法传输时延仿真示意图

Fig. 3 Simulation schematic of transmission delay for new algorithm

### 3.3 吞吐量分析

BS 防碰撞算法、DBS 防碰撞算法和新型算法的吞吐量分别为:

$$S_{BS} = S_{DBS} = \frac{n}{n \cdot (\text{Integ}(\log_2^n) + 1)} \times 100\% = \frac{1}{\text{Integ}(\log_2^n) + 1} \times 100\%. \quad (15)$$

$$S_{NEW} = \frac{n'}{2n' - 1} \times 100\%. \quad (16)$$

ALOHA 算法和时隙 ALOHA 算法的吞吐

$$L_{DBS} = (3k+44)n + (k+21) \cdot [n \cdot \text{Integ}(\log_2^n) - n]. \quad (10)$$

$$L_{NEW} = 2k + 23. \quad (11)$$

设传输速率为  $v$ (bit/s), 按照国际标准 ISO 14443A 所推荐的二进制防碰撞算法, 则 3 种方式的传输时延分别为:

量计算公式分别为:

$$S_{ALOHA} = G \cdot e^{-2G}. \quad (17)$$

$$S_{FSA} = G \cdot e^{-G}. \quad (18)$$

几种算法的吞吐量随标签个数的变化情况分别如图 4、图 5 所示, 从上述公式和图像可以看出, ALOHA 算法和时隙 ALOHA 算法的吞吐量最大分别为 18.4% 和 36.8%。

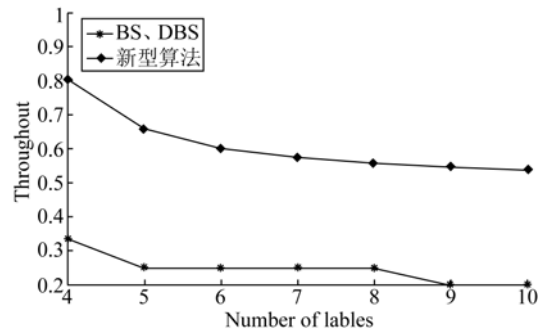


图 4 新型防碰撞算法与 BS 和 DBS 算法吞吐量比较  
Fig. 4 Comparison of throughputs for three algorithms

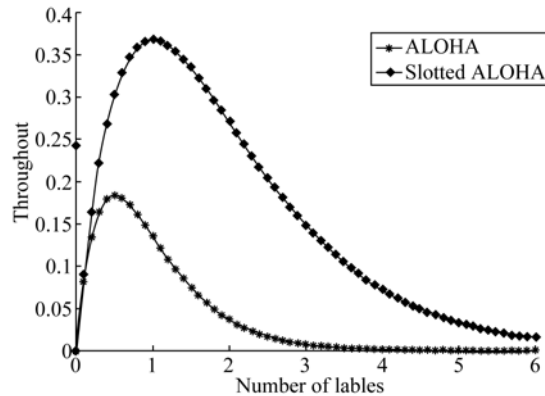


图 5 ALOHA 算法和时隙 ALOHA 算法吞吐量比较  
Fig. 5 Comparison of throughputs for ALOHA and slotted ALOHA algorithms

由以上分析可得:吞吐量方面,新型算法优于 BS 算法和 DBS 算法,也优于 ALOHA 算法和帧时隙 ALOHA 算法。

## 4 结 论

本文对目前常用的 RFID 碰撞算法<sup>[10-11]</sup>进行

了分析和比较,并从一个新的视角将两大经典防碰撞算法(二叉树和帧时隙算法)有机结合在一起,以充分发挥两种算法的优点。经过实验发现,新型算法在搜索次数,传输时延,吞吐率等重要指标上都明显优于 ALOHA 算法和二叉树算法。

### 参考文献:

- [1] FINKENZELLER K. *RFID-Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification* [M]. 2nd Edition, New York: Wiley and Sons, 2003.
- [2] CHA J, KIM J H. Dynamic framed slotted ALOHA algorithms using fast tag estimation Method for RFID System [C]. *Consumer Commnications and Networking Conference, CCNC 2006, 3rd IEEE*, 2006:768-772.
- [3] MIT AITO-ID Center. Draft protocol specification for a 900MHz class 0 radio frequency identification tag [EB/OL]. <http://auto-id.mit.edu>, 2003.
- [4] YU S S, ZHAN Y J, WANG Z P, et al.. Anti-collision algorithm based on jumping and dynamic searching and its analysis [J]. *Computer Engineering*, 2005, 31:19-30.
- [5] 林伟勇. RFID 防碰撞算法的研究[D]. 广东:广东工业大学, 2008.
- LIN W Y. *Research of RFID anti-collision algorithm* [D]. Guangdong: Guangdong University of Technodgy, 2008. (in Chinese)
- [6] LEE S, JOO S. An enhanced dynamic framed slotted ALOHA algorithm for RFID tag identification [C]. *Proc. the Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous System: Networking and Services, IEEE Computer Society, Washington, DC, Jul, 2005*:166-174.
- [7] JONGHO P, CHUNG M Y, LEE T J. Identification of RFID tags in framed-slotted ALOHA with robust estimation and binary selection [J]. *IEEE Commu, Lett.*, 2007, 11(5):452-454.
- [8] 胡正超. 基于二进制树的 RFID 防碰撞算法的研究[D]. 吉林:吉林大学.
- HU ZH CH. *The research on RFID anti-collision algorithm based on binary tree* [D]. Jilin:Jilin University. (in Chinese)
- [9] DENG X D. Tag count frame slotted aloha:a novel anti-collision protocol in RFID system[C]. *Vehicular Technology Conference*, 2008, 9:2666-2670.
- [10] 潘武, 钟先信, 巫正中. 无线通信系统中的微尺度射频元件[J]. *光学精密工程*, 2001, 8(4):304-310.
- PANG W, ZHONG X X, WU ZH ZH. [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 8(4):304-310. (in Chinese)
- [11] 王丽佳, 贾松敏, 王爽, 等. 采用改进 Mean Shift 算法的移动机器人行人跟踪[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(9):2364-2370.
- WANG L J, JIA S M, WANG SH, et al.. Person tracking of a mobile robot using improved Mean shif [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(9):2364-2370. (in Chinese)

### 作者简介:



梁士利(1968—),男,辽宁盘锦人,博士,副教授,1997 于中国科学院长春物理所获得硕士学位,2003 年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事信息安全方面的研究。E-mail: lsl@nenu.edu.cn



徐美玲(1988—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,2014 年于东北师范大学获得硕士学位,主要从事碰撞算法的研究。E-mail: 821141265@qq.com

(本栏目编辑:李自乐)  
(版权所有 未经许可 不得转载)