

# 一种用于 RFID 系统的防碰撞算法

翟 永, 徐 进

(南京电子技术研究所, 南京 210013)

**摘要:** 为了提高射频标签的识别速度, 提出一种防碰撞改进算法 ODFSA。该算法通过判断标签数量和算法门限值之间的关系, 选择响应标签的数量, 使其等于系统最大时隙数, 直至标签数量小于算法门限后, 进入 DFSA 算法的处理程序。计算及仿真结果证明, 当标签数量为 500 时, 该算法的效率分别是 BFSA 和 DFSA 的 1.488 倍和 1.375 倍, 在标签数量较大的情况下, 算法效率非常接近系统的理论值。

**关键词:** 射频识别; 标签识别; 防碰撞; 动态时隙 ALOHA 算法

## Anti-collision Algorithm for RFID System

ZHAI Yong, XU Jin

(Nanjing Research Institute of Electronics and Technology, Nanjing 210013)

**【Abstract】** In order to improve identification speed of Radio Frequency(RF) tags, this paper proposes an improved anti-collision algorithm called ODFSA(Optimized Dynamic Framed Slotted ALOHA). The algorithm judges the relationship between the number of tags and the algorithm threshold, and selects the number of responding tags which equivalent to the largest slot number of Radio Frequency Identification(RFID) system until the number is less than the threshold, and enters Dynamic Framed Slotted ALOHA(DFSA) algorithm. Simulation results show that the efficiency of ODFSA algorithm is 1.488 and 1.375 times than Basic Framed Slotted ALOHA(BFSA) algorithm and DFSA algorithm when the number of tags is 500, and the efficiency of this algorithm is very close to the theoretical value in the circumstance of the large number of tags.

**【Key words】** Radio Frequency Identification(RFID); tag identification; anti-collision; Dynamic Framed Slotted ALOHA(DFSA) algorithm

### 1 概述

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术发展得非常迅速, 在现代物流、商业贸易等领域得到广泛的关注。然而, 在 RFID 技术推广应用的过程中, 几乎所有的 RFID 系统都面临这样的技术挑战: 阅读器首先应能发现在其作用场内存在多少应答器, 其次是能从中选择正确的应答器进行通信。所以, RFID 系统的一个难点是如何解决标签的碰撞问题。标签碰撞是指多个标签数据在同一时刻占据了同一信道。有 2 种办法可以解决这一问题: 增加带宽和提高识别效率。一般情况下带宽是不能增加的, 因此, 必须设法提高识别的效率。为此, 许多学者沿着如下 2 条思路提出了多种解决办法: (1) 基于确定碰撞位跟踪的二叉树算法<sup>[1]</sup>; (2) 基于概率的 ALOHA 算法。其中, ALOHA 算法由于简单、识别效率较高而得到广泛的研究和应用。

采用 ALOHA 的 RFID 系统随着周围标签数量的增大, 标签的碰撞概率会迅速增大。基于时隙 ALOHA(Basic Framed Slotted ALOHA, BFSA)算法的阅读器每一帧的时隙数是固定不变的, 所以, 当标签数量较多时同样会出现碰撞概率迅速增大的现象。动态时隙 ALOHA(Dynamic Framed Slotted ALOHA, DFSA)算法可以根据周围标签数量的大小而不断调整发送的时隙数。DFSA 对 ALOHA 进行了不小的改进, 尤其是在标签数量相对较少的情况下, 识别效率非常高。但在标签数量很多、发送时隙受限时, DFSA 算法几乎显示不出优越性<sup>[2]</sup>。因此, 本文提出一种在阅读器最大发送时隙受限的条件下, 根据最大发送时隙动态选择标签和动态调整时隙数的防碰撞算法 ODFSA(Optimized Dynamic Framed Slotted ALOHA)。

### 2 国际上冲突算法标准

从长远的应用趋势来看, 现代物流业和商品零售业将广泛应用 RFID 技术。考虑到 RFID 的技术特点、潜在的应用空间以及现有的专用频段、公众移动频段等因素, 国际相关无线电管理机构已经开始进行频率规划工作, 并制定了相应的管理政策。对这方面做了大量工作的组织和机构包括 EPCglobal 和国际标准化组织。ISO18000 所包含的 6 个标准型文档分别定义了用于物品管理的射频识别系统的空气接口以及低于 135 kHz, 13.56 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz 和 UHF 频段的空气接口通信参数<sup>[3]</sup>。对于防碰撞算法, EPCglobal 提出了基于二叉树搜索算法和基于 ALOHA 的防碰撞算法。同时, 国际标准化组织也提出了相应的自适应算法。表 1 比较了这些标准中的一些性质<sup>[4]</sup>。

表 1 第 1 代 UHF 射频标签标准的比较

| 标准                    | 算法内容               | 标签阅读速度                       |
|-----------------------|--------------------|------------------------------|
| EPCglobal (0 类-UHF)   | 二叉树按位搜索算法(确定性)     | 平均: 200 标签/s<br>最大: 800 标签/s |
| EPCglobal (1 类-UHF)   | 二叉树时隙搜索算法(随机性)     | 不确定                          |
| ISO 18000-6 (A 类-UHF) | 动态时隙 ALOHA 算法(随机性) | 平均: 100 标签/s                 |
| ISO 18000-6 (B 类-UHF) | 二叉树搜索算法(随机性)       | 平均: 100 标签/s                 |

**基金项目:** 南京电子技术研究所发展基金资助项目(03-885)

**作者简介:** 翟 永(1982—), 男, 硕士, 主研方向: 射频识别技术及其应用; 徐 进, 研究员

**收稿日期:** 2008-09-30 **E-mail:** njnttp2891@163.com

### 3 ALOHA算法和BFSA算法

ALOHA 是一种为交互式计算机传输而设计的时分多路存取方式, BFSA 算法则要求电子标签在规定的同步时隙内传输数据包, 它是一种时分随机多址方法, 可以提高算法的吞吐率。ALOHA 算法和 BFSA 算法的处理过程如图 1 和图 2 所示。

|       |    |          |      |          |
|-------|----|----------|------|----------|
| 下行链路  | 请求 | 时隙 1     | 时隙 2 | 时隙 3     |
| 上行链路  |    | 碰撞       | 空闲   | 10101000 |
| 标签 1→ | ↓  | 10000001 |      |          |
| 标签 2→ | ↓  | 10010000 |      |          |
| 标签 3→ | ↓  |          |      | 10101000 |

图 1 ALOHA 算法原理

|       |    |               |      |          |
|-------|----|---------------|------|----------|
| 下行链路  | 请求 | 1 帧(第 t 帧的长度) |      |          |
|       |    | 时隙 1          | 时隙 2 | 时隙 3     |
| 上行链路  |    | 碰撞            | 空闲   | 10101000 |
| 标签 1→ | ↓  | 10000001      |      |          |
| 标签 2→ | ↓  | 10010000      |      |          |
| 标签 3→ | ↓  |               |      | 10101000 |

图 2 BFSA 算法原理

ALOHA 算法和 BFSA 算法最大吞吐率的计算如下, 其中,  $G$  为平均数据包交换量:

$$S_{\text{ALOHA}} = G \cdot e^{(-2G)} \Big|_{G=0.5} \approx 0.183 \ 94 \quad (1)$$

$$S_{\text{BFSA}} = G \cdot e^{(-G)} \Big|_{G=1} \approx 0.367 \ 88 \quad (2)$$

一般情况下, 标签成功传输信号的概率  $q$  定义为  $\frac{S}{G}$ 。由

式(1)、式(2)及平均数据包交换量  $G$  得

$$q = \frac{S}{G} = e^{(-2G)} \Big|_{G=0.5} = e^{(-G)} \Big|_{G=1} = \frac{1}{e} \approx 0.367 \ 88$$

图 3 给出了 ALOHA 算法和 BFSA 算法吞吐率的比较曲线。

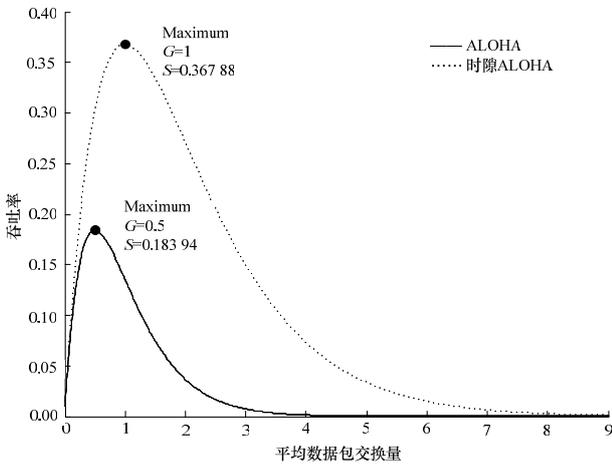


图 3 ALOHA 和 BFSA 的吞吐率比较

### 4 DFSA 算法

DFSA 算法是建立在 ALOHA 算法和 BFSA 算法基础上的一种改进算法。在 BFSA 算法中, 阅读器每一帧的时隙数是确定的, 不会随周围标签数量的变化而变化, 标签只有在规定的同步时隙内才能正确传输。这种算法存在 2 个方面问题:

(1) 当周围的标签数目(例如只有几个标签)远少于时隙数(例如 1 帧含有 256 个时隙)时, 将会浪费大量的时隙。

(2) 当周围的标签数目远大于时隙数时, 绝大多数的时隙

将被碰撞损耗掉, 阅读器的总轮询次数随之增加。

一种有效的解决办法是通过移位寄存器的模式使阅读器的时隙数随周围标签的变化而变化, 这也是 DFSA 的基本原理。

### 5 优化的 DFSA 算法

有一种现象是不能忽略的: 阅读器发送的时隙不可能随周围标签数量的增加而无限地增加。因此, 有必要考虑一种在阅读器发送时隙受限是提高系统阅读效率的办法: 假设所有碰撞位的信息全部损坏, 在不考虑俘获效应和标签选择时间的前提下, 根据最大发送时隙数动态选择响应标签的数量和动态调整系统发送的时隙数, 该算法总是在系统的最大时隙数这一点对标签进行选择, 使响应标签的数量等于系统最大发送时隙数(本文假设最大时隙数为 256)。

#### 5.1 动态时隙分配

设标签数量为  $n$ , 阅读器发送时隙数为  $m$ 。那么, 其中有  $r$  个标签在一个时隙内传输信息的概率为

$$B_{\frac{n}{m}}(r) = \binom{n}{r} \cdot \left(\frac{1}{m}\right)^r \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-r} \quad (3)$$

一个时隙中含有一个标签信息的数量为

$$a_1^{m,n} = m \cdot B_{\frac{n}{m}}(1) = n \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1} \quad (4)$$

标签成功传输信息的概率为

$$T_1 = \frac{a_1^{m,n}}{m} = \frac{n}{m} \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1}$$

求微分得

$$\frac{dT_1}{dm} = \frac{d}{dm} \left( \frac{n}{m} \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1} \right) = 0 \Rightarrow m_{\text{opt}} = n$$

所以, 当阅读器的时隙数和周围标签数目相当时, 标签成功传输的概率最大。同时有

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{m} \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1} \Big|_{m=n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1} \approx 0.367 \ 88$$

上式同样表明, 当  $m=n$  时, 系统会出现极值, 为 0.36788。

#### 5.2 标签估计

如何调整时隙是由当前标签的数量决定的。标签数量的估计可由上一次阅读器发送的时隙数和上一次标签反馈回的信息计算得出。根据 Chebyshev 不等式:

$$P(|X - EX|) \leq \frac{DX}{\varepsilon^2}$$

随机变量  $X$  在一定条件下非常接近于其数学期望  $EX$ , 所以, 根据数学期望可以对随机变量(标签数量)的特性加以表述。

设  $s_0, s_1, s_k$  分别表示上一次标签反馈回的空时隙数、含有一个标签的时隙数、发生碰撞的时隙数,  $a_0^{m,n}, a_1^{m,n}, a_k^{m,n}$  分别对应其期望值, 令:

$$\varepsilon(m; s_0, s_1, s_k) = \min \left\| \begin{pmatrix} a_0^{m,n} \\ a_1^{m,n} \\ a_k^{m,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_k \end{pmatrix} \right\|, (k > 1)$$

由式(4)得

$$a_0^{m,n} = m \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)^n$$

$$a_1^{m,n} = n \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1}$$

$$a_k^{m,n} = m - a_0^{m,n} - a_1^{m,n}$$

通过度量真实结果与预期结果之间的差,并使差最小化来预测标签的数量。但是一般情况下,  $\varepsilon \neq \varepsilon(m; s_0, s_1, s_k)$ , 其中,  $\varepsilon$  是期望误差;  $\varepsilon(m; s_0, s_1, s_k)$  是实际误差<sup>[5]</sup>。

### 5.3 ODFSA算法的判决门限

设  $N$  为系统采用 ODFSA 算法的判决门限, 令

$$N = n_\lambda + n \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1}$$

并且

$$\frac{\left(1 - \frac{1}{128}\right)^{n_\lambda-1}}{128} = \frac{\left(1 - \frac{1}{256}\right)^{n_\lambda-1}}{256} \Rightarrow n_\lambda \approx 176 \Rightarrow$$

$$N = n_\lambda + n \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)^{n-1} \Big|_{n=m=256} \approx 176 + 94 = 270$$

所以, 当周围标签的数量超过 270 时, 阅读器就可以选择 256 个标签进行处理, 当周围标签数量少于 270 时, 则按照减时隙模式的 DFSA 算法进行处理。

### 5.4 性能评估

ODFSA 算法的基本思想是: 设阅读器的最大时隙数为  $L$ , 标签数量为  $J$ ,  $N$  为判决门限。如果  $J < N$ , 那么算法按照减时隙模式的 DFSA 算法进行处理; 如果  $J > N$ , 阅读器从  $J$  个标签中选择  $L$  个标签进行处理。假设某次处理完  $K$  个标签, 然后从剩下的标签中再递增  $K$  个标签进入下一次识别过程, 当剩下的标签数目小于  $N$  时, 算法按减时隙模式的 DFSA 算法处理, 直至所有标签全部被识别为止。

ODFSA 算法的伪码如下:

```

1  function_ODFSA()
2  {
3  Tag_num=J;
4  Slot_max=L;
5  Odfsa_slot_num=0;
6  Dfsa_slot_num=0;
7  Change_slot_num=0;
8  s=J*(1-1/L)J-1;
9  when (Is_end_of_slots ())
10 {
11 {
12 when (Tag_num>N)
13 {...
14 Odfsa_slot_num = Odfsa_slot_num+Slot_max;
15 Tag_num= Tag_num -s;
16 }
17 then
18 function_DFSA ();
19 Odfsa_slot_num=Odfsa_slot_num+Dfsa_slot_num;
20 }
21 when (Tag_num<N)
22 {function_DFSA ();
23 Ofsa_slot_num=Change_slot_num+Dfsa_slot_num;
24 }
25 }
26 }
```

图 4 显示了 BFSFA, DFSA 和 ODFSA 三者效率的比较, 其中未考虑置信度。

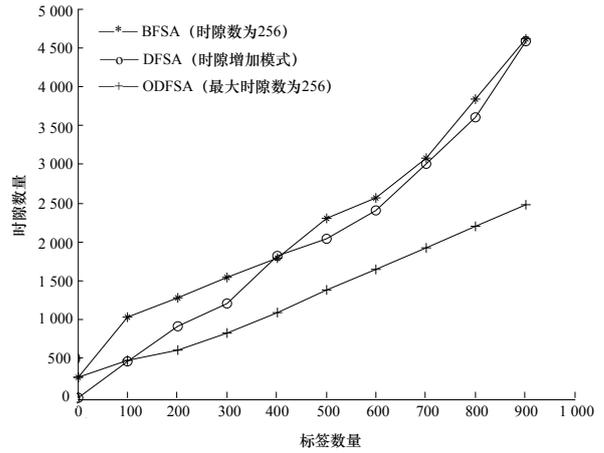


图 4 BFSFA, DFSA 和 ODFSA 的效率比较

当标签数量为 500、置信度为  $\alpha = 0.99$  时, 3 种算法的识别效率如下: BFSFA 算法为 24.4%, DFSA 算法为 26.4%, ODFSA 算法为 36.3%。

## 6 结束语

RFID 系统存在一个共同的问题: 阅读器必须能同时识别多个标签, 因此, 阅读器必须同时无碰撞地识别多个标签。本文在 BFSFA 和 DFSA 算法的基础上介绍了一种防碰撞算法 ODFSA。给出了 ODFSA 算法的关键技术及其处理过程, 最后通过仿真和计算将其与 BFSFA, DFSA 算法进行了比较。可以发现, 标签数量为 200 左右时, 系统的效率接近于 36.788%, 因此, ODFSA 算法特别适合标签数量较大的应用场合。但是, ODFSA 没有考虑俘获效应和选择时间。俘获效应的存在将使系统的吞吐率达到  $\frac{1+b}{b}e^{-1}$ 。另外, 标签数量的判断符合马尔科夫过程<sup>[6]</sup>, 这一过程需要设计置信度, 本文对此过程也进行了简化。

## 参考文献

- [1] Ji Hwan Choi, Lee Dongwook, Lee Hyuckjae. Query Tree-based Reservation for Efficient RFID Tag Anti-collision[J]. IEEE Communications Letters, 2007, 11(1): 85-87.
- [2] Hwang T W, Lee B G, Kim Y S, et al. Improved Anti-collision Scheme for High Speed Identification in RFID System[C]//Proc. of International Conference on Innovative Computing, Information and Control. Beijing, China: [s. n.], 2006.
- [3] Finkenzeller K. 射频识别技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [4] ISO/IEC. ISO18000-6-2003(E) Parameters for Air Interface Communications at 860-960 MHz[S]. 2003.
- [5] Vogt H. Lecture Notes in Computer Science[M]. Heidelberg, Germany: Springer, 2002.
- [6] 胡建赞, 李 强, 阚 昊. 时隙 ALOHA 法在 RFID 系统防碰撞问题中的应用[J]. 应用科学学报, 2005, 23(5): 489-492.

编辑 张 帆