

RFID 系统 8-4-2 动态多叉树防碰撞算法设计与分析*

郭荣佐¹, 张涛¹, 黄君²

(1. 四川师范大学 计算机科学学院, 成都 610068; 2. 四川工商职业技术学院 基础教学部, 四川 都江堰, 611830)

摘要:针对 RFID 系统多标签防碰撞以及信息交互效率低下等问题, 提出了 8-4-2 动态多叉树防碰撞算法和信息携带量小优先(Short message first, SMF)的信息交互算法。8-4-2 DMTSA 算法通过计算当前系统产生的碰撞比率动态确定搜索叉数, 并且优化搜索命令, 减少了空闲时隙; SMF 算法通过对不同标签的信息量进行标识, 按照信息携带量小优先原则进行交互, 缩短了标签平均等待时延。通过仿真分析表明, 设计的算法能够有效改善 RFID 系统的整体性能, 提高系统的整体效率。

关键词:RFID 系统; 防碰撞; 信息交互; 多叉树

中图分类号:TP216

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2013)06-0118-05

随着物联网 RFID 技术的应用推广, 如何提高 RFID 系统的效率成为亟待解决的关键问题之一, 其中防碰撞算法是提高 RFI 系统效率的重要方法。

就目前研究而言, 国内外在 RFID 防碰撞算法方面, 主要是基于时分多址(TDMA)的概率型 ALOHA 算法和遍历型二进制查找算法^[1]两种。基于 ALOHA 的算法主要有纯 ALOHA 算法、Slotted ALOHA 算法、Frame Slotted ALOHA(FSA)算法和 Dynamic FSA(DFSA)算法^[2]等。二进制搜索算法是一种遍历型算法, 不存在标签遗漏的现象, 但是在标签数目巨大时识别效率非常低下^[3]。文献[4]提出了基于四叉树的搜索算法, 通过扩大搜索分支, 在识别初期可减少碰撞次数, 但是随着搜索深度增加会产生相当多得空闲时隙。文献[5]提出了一种自适应多叉查找算法, 根据碰撞因子来确定搜索的叉数(二叉或者四叉)能有效减少文献[4]中单一四叉树所产生的空闲时隙, 提高了效率。但是文献[5]的算法并不能确定碰撞节点中存在的标签数目, 在搜索深度增加后依然会产生较多空闲时隙。为此文献[6]提出基于文献[5]的改进型防碰撞算法, 通过优化搜索前缀, 减少空闲时隙。但是上述文献所提出的搜索算法在标签数目很多的场合, 所需搜索总时隙、产生空闲时隙和碰撞时隙仍然较多, 搜索效率依旧偏低。

为有效弥补上述算法的不足, 在此从 RFID 系统的整体角度出发, 提出 8-4-2 动态多叉树防碰撞算法(8-4-2 Dynamic multi-Tree search algorithm, 8-4-2 DMTSA)和在阅读器与标签进行信息交互期间的信息携带量小优先算法(Short message first, SMF), 来提高系统的整体效率。

1 RFID 系统简介

RFID 是频率识别(Radio frequency identification, RFID)的简称。阅读器、应答器、中间件以及应用系统软件组成完整的 RFID 系统, 一般又将中间件和应用软件统称为应用系统, 其基本结构如图 1 所示。

2 算法设计

2.1 8-4-2 DMTSA 算法

整个 RFID 系统的执行过程可分为问询、防碰撞和信息交互 3 大阶段。问询阶段: 阅读器发出初始问询命令(Req)给在可识别范围内的所有标签, 标签在接到问

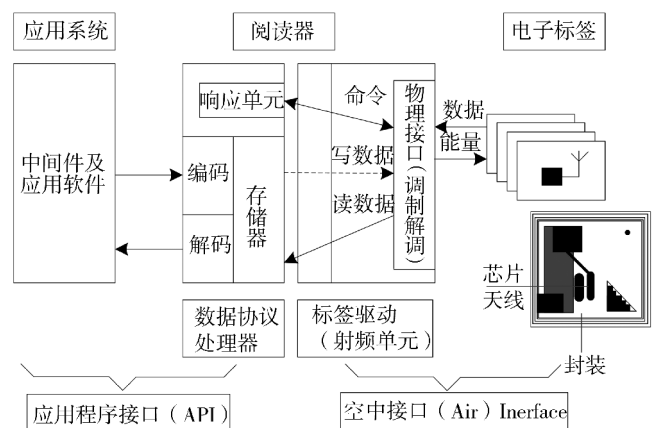


图 1 RFID 系统框图

* 收稿日期:2012-12-17 修回日期:2013-03-20 网络出版时间:2013-11-20 14:46

资助项目:四川省科技创新苗子工程资助项目(No. 2012ZZ048);四川省教育厅自然科学重点项目(No. 10ZA008)

作者简介:郭荣佐,男,副教授,硕士生导师,研究方向为嵌入式实时系统、物联网感知技术等,E-mail: gyz00001@163.com

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20131120.1446.201306.118_050.html

询信号后回送自身的 ID 号。防碰撞阶段:阅读器根据问询阶段标签所返回的结果,计算产生碰撞的比率 p ,根据碰撞比 p 来确定搜索叉数。信息交互阶段:经过防碰撞阶段标签将自己所携带信息量(Size)发送给阅读器,阅读器依据标签所携带信息量大小给予标签一个编号(Num)并且将其推入等待通信队列。待所有标签都进入队列后,按照信息携带量少优先原则进行信息交互。

8-4-2 DMTSA 的思想为:根据问询阶段返回的结果,计算碰撞比 p ,依据碰撞比 p 来动态确定搜索叉数,随着搜索深度的增加,碰撞位数减少,相应减少搜索叉数并且优化搜索命令,进一步减少空闲时隙,使系统效率达到最优。具体实现过程如图 2,具体实现步骤为:

- 1)初始化问询命令堆栈,并发送 Req 命令给作用范围内所有标签;
- 2)阅读器发送 Req 命令后,标签回送自身 ID 号,无标签响应返回,转至 6),否则,转至 3);
- 3)阅读器根据回送的信息判断有没有碰撞出现,若无转至 5);否则,计算碰撞比 p ,依据碰撞比 p 来确定搜索叉数;
- 4)若 $p < 0.75$,采用二叉搜索,阅读器依据碰撞最高 bit,确定查询命令;若 $0.75 \leq p < 0.97$,采用四叉搜索,阅读器发送查询最高 2 个碰撞 bit 位的命令,应答器回送含有碰撞 bit 的 4 位编码,阅读器据此确定系统中存在的碰撞前缀,发送 Req 新命令;若 $p \geq 0.97$,采用八叉搜索,阅读器发送查询最高 3 个碰撞 bit 位的命令,应答器回送含有碰撞 bit 的 8 位编码,阅读器据此确定系统中存在的碰撞前缀,发送 Req 新命令;
- 5)已识别标签回送所携带信息量的大小(Size),阅读器对其编号(Num)并推入等待通信队列;
- 6)判断问询命令堆栈是否为空栈,若是转至 7),否则转至 2);
- 7)结束。

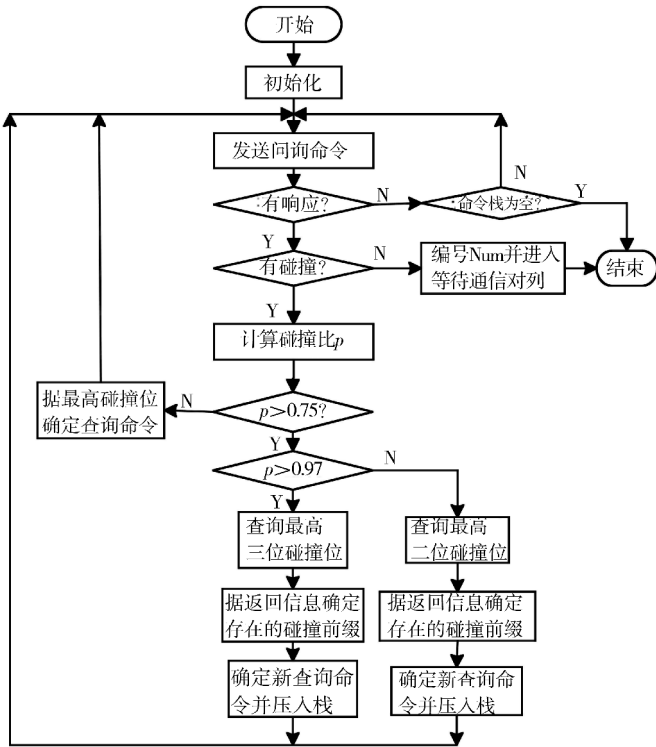


图 2 8-4-2 DMTSA 算法防碰撞流程图

2.2 8-4-2DMTSA 算法分析

在 RFID 系统中采用 Manchester 编码能够有效判断产生碰撞的 bit 位数以及具体位置,依据产生碰撞的位数可得出碰撞分支内的待识别标签数。假定 RFID 系统中产生碰撞的位数 N_p ,总响应位数 N ,则产生碰撞的比率为 p

$$p = N_p / N \quad (1)$$

若阅读器可识别区域内存在 S 个待识别标签,则任意 bit 位无碰撞的几率为

$$2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^s = \left(\frac{1}{2}\right)^{s-1} \quad (2)$$

所以可推导出

$$p = \frac{N \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{s-1}\right)}{N} = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{s-1} \quad (3)$$

可见当 S 值越大,即应答器数量越多情况下,产生碰撞的比率 p 越大。假设阅读器可识别区域内标签数为 S ,当前执行查找分支数为 L ,则查找深度等于 1 时候,可成功标识的几率为

$$p_a(1) = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{s-1} \quad (4)$$

由此可得,若查找深度等于 d 时候,可成功标识的几率为

$$p_a(d) = p_a(1) [1 - p_a(1)]^{d-1} \quad (5)$$

查找深度的期望为

$$E(d) = \sum_{d=0}^{\infty} [1 - p_a(1)]^d = \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{L}\right)^{s-1}} \quad (6)$$

$$\text{所需时隙数 } T \text{ 为} \quad T_L = E(d)L = \frac{L}{\left(1 - \left(\frac{1}{L}\right)\right)^{s-1}} \quad (7)$$

$$\text{由此可得, 执行 2 分查找 } T \text{ 为} \quad T_2 = \frac{2}{\left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)\right)^{s-1}} \quad (8)$$

$$\text{同理, 执行 4 分查找 } T \text{ 为} \quad T_4 = \frac{4}{\left(1 - \left(\frac{1}{4}\right)\right)^{s-1}} \quad (9)$$

$$\text{执行 8 分查找 } T \text{ 为} \quad T_8 = \frac{8}{\left(1 - \left(\frac{1}{8}\right)\right)^{s-1}} \quad (10)$$

$$\text{令} \quad F(s) = \frac{2}{\left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)\right)^{s-1}} - \frac{4}{\left(1 - \left(\frac{1}{4}\right)\right)^{s-1}}$$

分析可得, 当 $S \geq 3$ 时, $F(S) > 0$, 故 $T_2 > T_4$ 。

$$\text{同理, 令} \quad F(s) = \frac{4}{\left(1 - \left(\frac{1}{4}\right)\right)^{s-1}} - \frac{8}{\left(1 - \left(\frac{1}{8}\right)\right)^{s-1}}$$

当 $S \geq 6$ 时, $F(S) > 0$, 故 $T_4 > T_8$ 。

综上所述, 当 $S < 3$ 时, T_2 所需时隙最少; 当 $3 \leq S < 6$ 时, T_4 所需时隙最少; 当 $S \geq 6$ 时, T_8 所需时隙最少。

结合(3)式得, 碰撞比 P 的两个边界值为 $p_{\min} = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{3-1} = 0.75$, $p_{\max} = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{6-1} \approx 0.97$ 。由此可得: 依据碰撞比 p 选定分叉域, 要使系统所需时隙最少, 则当 $p < 0.75$ 时, 采用二叉查找; 当 $0.75 \leq p < 0.97$ 时, 采用四叉查找; 当 $p \geq 0.97$ 时, 采用八叉查找。此时系统所需时隙总数最少, 效率最优。

假定有 9 个应答器存在于阅读器可识别区域内: Tag1:0000, Tag2:0010, Tag3:0100, Tag4:0110, Tag5:1000, Tag6:1010, Tag7:1100, Tag8:1110, Tag9:0101。采用二叉查找算法, 则需要总时隙数 21 个, 其中碰撞 15 个, 空闲 7 个; 采用动态四叉查找算法, 则需要总时隙数为 21 个, 其中碰撞 5 个, 空闲 7 个; 采用 8-4-2 DMTSA 算法, 则需要总时隙数 11 个, 其中碰撞 2 个, 空闲 0 个。由此可见, 防碰撞算法若能够据待识别标签数自动确定搜索叉数, 就能够提高整体效率, 8-4-2 DMTSA 算法的优越性也由此得到体现。

2.3 8-4-2 DMTSA 算法仿真

RFID 系统效率可由系统所需时隙总数与系统吞吐率 2 个方面来衡量。假设系统中标签数为 S , 若查找的深度等于 d_1 , 每个节点上平均标签数为 6, 则 $d_1 = \lceil \log_8 \frac{S}{6} \rceil$; 若查找的深度等于 d_2 , 每个节点上平均标签数为 3, 则

$$d_2 = d_1 + \lceil \log_4 \frac{S - 6 * d_1}{3} \rceil; \text{ 又由文献[7]可知, 二叉查找时, } T = 2S - 1. \text{ 所以, 所需询问次数分别为 } T_8 = \sum_{i=0}^{d_1} 8^i =$$

$$\sum_{i=0}^{\lceil \log_8 S/6 \rceil} 8^i, T_4 = \sum_{i=0}^{d_2 - d_1} 4^i = \sum_{i=0}^{\lceil \log_4 \frac{S - 6 * d_1}{3} \rceil} 4^i, T_2 = \frac{S}{3 * 6} (2 * 3 * 6 - 1) = \frac{35S}{18}. \text{ 由此可得, 所需时隙总数为 } T = T_8 + T_4 +$$

$$T_2 = \sum_{i=0}^{\lceil \log_8 S/6 \rceil} 8^i + \sum_{i=0}^{\lceil \log_4 \frac{S - 6 * d_1}{3} \rceil} 4^i + \frac{35S}{18}.$$

由吞吐率的定义可得

$$e = \frac{S}{T} = \frac{S}{\sum_{i=0}^{\lceil \log_8 S/6 \rceil} 8^i + \sum_{i=0}^{\lceil \log_4 \frac{S - 6 * d_1}{3} \rceil} 4^i + \frac{35S}{18}}$$

下面在 MATLAB 中对 8-4-2 DMTSA 算法与已有的算法进行仿真,从所需时隙总数与系统吞吐量 2 个方面来进行比较分析。

仿真结果取 3 次独立实验结果的均值。由图 3 可知随着系统中待识别标签数量的增加,系统花费总时隙数量基本成线性增长,而 8-4-2 DMTSA 算法较已有算法花费总时隙数量增长最为缓慢,整体所花费时隙总数较已有算法有明显减少;由图 4 可知应答标签数在 400 内,吞吐量 QT 算法基本保持在 0.35, DBS 算法基本为 0.45, AMS 算法保持在 0.5 左右,而 8-4-2 DMTSA 算法可以达到 0.6 左右,较已有算法吞吐量有明显改进。

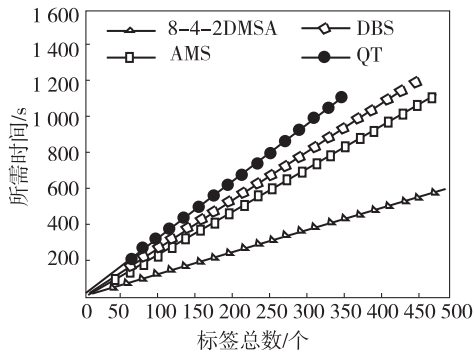


图 3 系统所需时隙比较

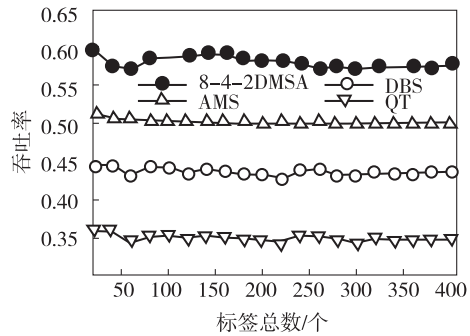


图 4 系统吞吐量比较

2.4 信息交互阶段分析

经过防碰撞阶段阅读器可识别区域内所有标签进入通信队列。由于每个标签所携带的信息量不同,有的小到几个比特位,有的大到几十字节,所需交互的时间不同。为提高 RFID 系统整体的交互效率,本文提出采用信息携带量小优先(Short message first, SMF)的方法来实现阅读器与标签之间的信息交互。完成信息交互后,阅读器发送一个 Halt 命令使标签进入休眠状态,并且退出通信队列,直到通信队列为空则结束。本算法的创新之处在于,减少了标签平均等待时间,从而提高系统吞吐量。

将 SMF 算法与传统先来先服务(FCFS)算法的性能进行对比分析,如表 1 所示。假设有 TagA、TagB、TagC、TagD、TagE 5 个标签,其携带信息量分别为 4、3、5、2、4,所需交互时间分别为:4、3、5、2、4 s,则按照 FCFS 算法各个标签所需等待时间分别为:0、4、7、12、14 s,完成整体交互所需时间为 18 s,平均等待时间为 7.4 s;按照 SMF 算法各个标签所需等待时间分别为:3、2、11、0、7 s,完成整体交互所需时间为 16 s,平均等待时间为 4.6 s。

表 1 SMF 算法与 FCFS 算法性能对比表

标签	TagA	TagB	TagC	TagD	TagE	系统完成时间/s	平均等候时延/s
信息量	4	3	5	2	4		
所需时间/s	4	3	5	2	4		
FCFS 等待时间/s	0	4	7	12	14	18	7.4
SMF 等待时间/s	3	2	11	0	7	16	4.6

因此 SMF 算法较传统 FCFS 算法减少了等待时间,缩短了系统整体服务时间,提高了系统整体效率。

3 结束语

本文着眼于 RFID 系统整体效率的提高,着重分析了标签识别期间的防碰撞问题以及标签接入后信息交互的时效问题。提出了 8-4-2 动态多叉树防碰撞算法(8-4-2 DMTSA)以及信息携带量小优先的信息交互算法(SMF),仿真分析证明本文算法较已有算法在所需交互时延以及系统吞吐量方面有了明显改进。

参考文献:

[1] 李秉璋,景征骏,罗焯. 基于后退式二进制的 RFID 防碰撞搜索算法[J]. 计算机应用与软件,2009(12):96-99.

Li B Z, Jing Z J, Luo Y. A RFID anti-collision searching algorithm based on regressive-style binary system[J]. Com-

- puter Applications and Software, 2009(12):96-99.
- [2] 单承赣, 单玉峰, 姚磊. 射频识别(RFID)原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008:101-124.
Shan C G, Shan Y F, Yao L. Principle and application of radio frequency identification (RFID) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008:101-124.
- [3] 王亚奇, 蒋国平. 基于分组机制的跳跃式动态二进制防碰撞算法[J]. 自动化学报, 2010, 36(10):1390-1400.
Wang Y Q, Jiang G P. Anti-collision algorithm based on grouping mechanism and jumping dynamic binary[J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(10):1390-1400.
- [4] Ryu J, Lee H, Seok Y, et al. A hybrid query tree protocol for tag collision arbitration in RFID systems[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Glasgow, Scotland: IEEE, 2007:5981-5986.
- [5] Ding Z G, Zhu X Y, et al. An adaptive anti-collision algorithm based on multitree search[J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(2):237-241.
- [6] 张学军, 蔡文琦, 王锁萍. 改进型自适应多叉树防碰撞算法研究[J]. 电子学报, 2012, 40(1):193-198.
Zhang X J, Cai W Q, Wang S P. One Anti-collision algorithm based on improved adaptive multi-tree search[J]. Chinese Journal of Electronics, 2012, 40(1):193-198.
- [7] Finkenzeller K. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification[M]. New York: John Wiley and Sons, 2003.

RFID 8-4-2 Dynamic Multi-branches Tree Anti-collision Algorithm Design and Analysis

GUO Rong-zuo¹, ZHANG Tao¹, HUANG Jun²

(1. College of Computer Science of Sichuan Normal University, Chengdu 610068;

2. Department of Grounding Instruction of Sichuan Technology & Business College, Dujiangyan Sichuan 611830, China)

Abstract: For RFID system tags anti-collision and information-interactive inefficient problems, this paper puts forward 8-4-2 dynamic multi-branches tree collision algorithm and short information to carry prior interaction algorithm. 8-4-2 DMTSA algorithm searches branches through calculating the current system generates collision ratio dynamic determining, optimizes the search command and reduces the idle time slot. The SMF algorithm identifies different label through carrying information, according to the information carrying capacity of small priority principle to interact, shorten the average wait time. The simulation analysis shows that this algorithm can effectively improve the RFID system performance and the whole efficiency of the system.

Key words: RFID system; Anti-collision; information-interactive; multi-branches tree

(责任编辑 欧红叶)