

并行识别 RFID 自适应多叉树防碰撞算法

白乐强, 杨 晰

(沈阳建筑大学 信息与控制工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘 要: 针对自适应多叉树防碰撞算法的吞吐量不稳定性和“误判”问题, 提出一种并行识别的 RFID 标签防碰撞算法. 该算法利用 OVFS 扩频码技术, 在时隙内开拓码道, 当碰撞发生时能够并行识别标签 ID 信息, 减缓由标签数量增大而造成的碰撞累积. 理论分析表明算法的吞吐量随 OVFS 扩频码码长增大而提高. 仿真分析表明该算法有效地提高了 RFID 系统的防碰撞性能.

关键词: RFID; 防碰撞; 自适应; 并行识别

中图分类号: TP

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)01-0136-04

A Parallel Anti-Collision Algorithm Based on Adaptive Multi-Tree Search

BAI Le-qiang, YANG Xi

(Information & Control Engineering Faculty, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: In order to improve the unstable system throughput and reduce the "misjudgment" issues, this paper proposes a kind of parallel multi-tree search anti-collision algorithm. Using OVFS code spread spectrum technology, the algorithm can develop tracks in a time slot and when collision occurs, it can identify tags concurrently to reduce the accumulated collision. Theoretic analysis proves that the system throughput is improved with the increasing of code length. Simulation results show that the new algorithm has improved the anti-collision performance of RFID system effectively.

Key words: RFID; anti-collision; adaptive; parallel

1 引言

射频识别又称电子标签(E-Tag), 是一种利用射频信号自动识别目标对象并获取相关信息的技术. 现实中, 当多个标签进入阅读器阅读范围并同时向阅读器传送数据时, 消息互相干扰导致阅读器不能够分辨收到的消息, 出现了标签的碰撞问题^[1].

现有的标签防碰撞算法可以分为基于 ALOHA 机制算法和基于二进制树机制的算法^[2]. 对于基于时隙的不确定性的 ALOHA 算法, BONUCCELLI-MA 等人提出时隙 ALOHA 算法, 电子标签只能在规定的同步时隙内传输数据包, 对所有电子标签的同步由阅读器控制^[3]. CHAJ R 等人提出动态帧时

隙 ALOHA 算法, 该算法根据阅读器周围标签数目动态调整帧的大小^[4]. 另一种基于二进制树机制的确定性算法在 RFID 手册中提出, 阅读器根据碰撞信号的译码结果发出寻呼, 每识别出一个标签就返回到起始点, 这是二叉树算法中的经典算法之一^[5]. Min-Kuei Yeh 等人提出时隙内分裂思想, 通过概率计数器调节碰撞标签^[6]. Yuan-Hsin Chen 等人提出一种增强型防碰撞算法, 该算法将标签的碰撞信息写入消息栈, 大大减少搜索次数. 但是两种算法依然存在缺点, ALOHA 算法由于查询的随机性, 标签可能出现漏读问题, 即标签“饿死”情况; 二叉搜索树算法则存在识别周期长和标签功耗大等问题^[7].

二叉搜索树算法中阅读器在每个时隙内只能阅

收稿日期: 2014-03-13; 修回日期: 2014-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(60973022/F020202)

读一个标签,吞吐量难以达到理想水平.本文在自适应多叉树算法(AMS)的基础上,提出一种并行识别的自适应多叉树算法.该算法能有效减少查询占用的总时隙数,改善自适应多叉树吞吐率的不稳定.

2 并行识别自适应多叉树算法

自适应多叉树算法定义碰撞因子 μ , μ 为碰撞时隙内的碰撞比特数 n_c 与标签响应的比特数 n_r 的比值,可通过式(1)^[8] 计算.

$$\mu = \frac{n_c}{n_r} \quad (1)$$

通过比较二叉树和四叉树总时隙数,计算出临界值 $\mu=0.75$. 当 $\mu < 0.75$ 时,算法将两条新查询指令写入查询序列列表,开始二叉树搜索查询;反之选择四叉树查询.

在并行识别的防碰撞算法中,当标签接收到码长参数为 m 的信号时,OVSF 硬件生成模块即会随机生成一个长度为 m 的扩频码.阅读器在 OVSF 码表中提取码长为 m 的信息对接收到的信号进行解调.由于不同的 OVSF 码之间完全正交,经扩频后的 ID 数据也完全不相关,使得在碰撞时隙内携带不同 OVSF 码的标签也可以被成功识别,算法命名这样的时隙为伪碰撞时隙.这样算法中会出现四种时隙状态,它们分别为碰撞时隙、伪碰撞时隙、空闲时隙和成功时隙.碰撞时隙,有两个以上标签同时响应,同时这些标签又有相同的 OVSF 扩频码,它们即发生了 ID 碰撞又发生了码碰撞,不能够被阅读器成功识别,只能等待下一次查询.伪碰撞时隙,有两个以上标签同时响应,但是其中必须有一个或者多个标签具有唯一的扩频码,它们在原有的碰撞时隙中通过解扩运算成功被阅读器识别,其他剩余标签也等待下一次查询.空闲时隙没有标签响应.成功时隙内只有一个标签响应,阅读器成功识别标签 ID.

算法基本步骤如下:

步骤 1 初始查询.

步骤 1.1 阅读器初始化查询序列列表,向标签发送 OVSF 扩频码码长参数 m 和总查询指令.

步骤 1.2 标签随机选择码索引号,生成扩频码.

步骤 1.3 满足查询指令的标签将 ID 数据和扩频码进行正交调制,将信号回送给阅读器.

步骤 2 判断时隙的状态.

步骤 2.1 如果时隙内有两个以上标签响应且标签的 OVSF 扩频码相同,该时隙为碰撞时隙,跳

转至步骤 3;否则转至步骤 2.2.

步骤 2.2 如果时隙内有两个以上标签响应,且有一个或几个标签有唯一 OVSF 扩频码,那么有唯一扩频码的标签被阅读器成功识别,该时隙为伪碰撞时隙,转至步骤 2.2.1 否则跳转至步骤 2.3.

步骤 2.2.1 若伪时隙内有剩余标签待识别,跳转至步骤 3;否则转至步骤 2.2.2.

步骤 2.2.2 若伪时隙内无标签待识别,跳转至步骤 4.

步骤 2.3 如果时隙内只有一个标签响应,那么标签被阅读器成功识别,跳转至步骤 4.

步骤 3 根据式(1),计算碰撞因子 μ ,通过与临界值 0.75 比较,选择搜索叉树.

步骤 3.1. 若 μ 小于 0.75,创建两个查询码写入查询序列列表,开始二叉搜索树查询,跳转至步骤 1.3.

步骤 3.2. 如果 μ 大于等于 0.75,创建四个查询码写入查询序列列表,开始四叉搜索树查询,跳转至步骤 1.3.

步骤 4 判断查询序列列表状态.

如果查询序列列表不为空,则读取序列列表首的查询码继续查询,跳转至步骤 1.3;否则本次查询结束.

假设 6 个随机的标签信息分别为 tag10100[11]、tag20101[-11]、tag30110[-11]、tag41010[-1-1]、tag51100[-1-1]、tag61110[-11],算法执行过程如表 1 所示.

表 1 并行识别自适应多叉树算法执行过程

查询指令	解码	成功识别标签
(NULL,4)	XXXX[-1-1]	tag4
(00,2)	无	tag4
(01,2)	01XX[11]	tag4,tag1
(010,1)	0101[-11]	tag4,tag1,tag2
(011,1)	0110[-11]	tag4,tag1,tag2,tag3
(10,2)	无	tag4,tag1,tag2,tag3
(11,2)	1100[11], 1110[-11]	tag4,tag1,tag2, tag3,tag5,tag6

3 算法理论分析

吞吐量作为评价 RFID 防碰撞性能的重要指标,表示了一个时隙内成功识别标签的数量.在一个时隙内,有 n 个标签响应且扩频码码长为 m 的吞吐量 S_{slot} 可通过式(2)^[9] 计算.

$$S_{\text{slot}} = m \left(\frac{n}{m} \right) \left(1 - \frac{1}{m} \right)^{n-1} \quad (2)$$

假设阅读器可读范围内标签应答器总数为 N , 当搜索深度为 k 时, 每个时隙内有 n 个标签应答, 搜索深度 $k = \lceil \log_L(N/n) \rceil$, $\lceil \cdot \rceil$ 表示向下取整. 当搜索树的叉树为 L 时, 根据基本二叉树协议, 在一个时隙内出现 n 个标签响应的概率 $P_{L\text{-ary}}$ 服从二项分布.

$$P_{L\text{-ary}} = \delta_N^n (L^{-k})^n (1 - L^{-k})^{N-n} \quad (3)$$

对于给定的 OVFSF 扩频码码长 m , 算法的吞吐量 S 服从求和公式.

$$S = \sum_{n=0}^N P_{L\text{-ary}} \cdot S_{\text{slot}} \quad (4)$$

根据自适应多叉树算法的原理, 当碰撞因子 $\mu < 0.75$ 时, 节点内的标签数 $n < 3$, 选择动态二叉树搜索, 即 $L = 2$; 反之选择动态四叉树搜索, 即 $L = 4$. 并行识别自适应多叉树算法的吞吐量 S 是动态二叉树和动态四叉树的吞吐量之和.

$$S = \sum_{n=0}^2 (P_{2\text{-ary}} \cdot S_{\text{slot}}) + \sum_{n=3}^N (P_{4\text{-ary}} \cdot S_{\text{slot}}) \quad (5)$$

把式(2)和式(3)代入式(5), 得到并行识别自适应多叉树算法的吞吐量.

$$S = \sum_{n=0}^2 (\delta_N^n 2^{-k \cdot n} (1 - 2^{-k})^{N-n} \cdot S_{\text{slot}}) + \sum_{n=3}^N (\delta_N^n 4^{-k \cdot n} (1 - 4^{-k})^{N-n} \cdot S_{\text{slot}}) \quad (6)$$

按照式(6)分别计算出在不同码长的条件下算法的吞吐量. 图1反映了吞吐量随扩频码码长的变化情况, 其中 OVFSF 扩频码码长的取值范围为 2^i ($i = 0, 1, \dots, 7$), 待识别的标签数量 N 为 1 到 1 000, 可以看到吞吐量随码长增大而增大.

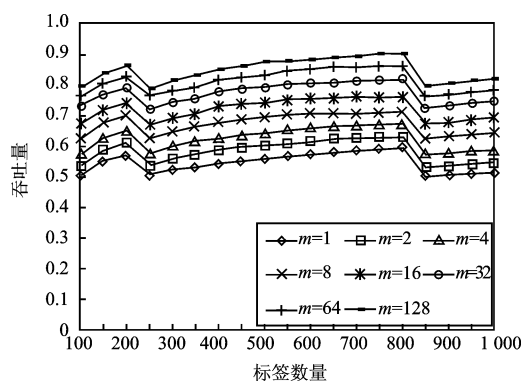


图1 吞吐量与数量及扩频码码长的关系

图1中并行识别自适应多叉树的吞吐量随扩频码码长增大而增大, $m = 1$ 时 PAMS 的吞吐量即是基本自适应多叉树算法的吞吐量, $m = 1$ 时吞吐量

最大值为 0.594, 而当 m 值增大到 128 时, 吞吐量的最大值达到 0.901. 当 $m = 8$ 时, 吞吐量在标签数量为 300 时增长幅度最大, 最大差值达到 0.049; 在 $m = 16$ 和 $m = 18$ 的情况下, 吞吐量呈线性比例增长, 特别是标签数量达到 500 之后, 吞吐量增幅优势更加明显. 当扩频码码长继续增大时, 阅读器搜索码表占用的时间对算法整体的工作效率产生影响, 吞吐量仍然呈现增大趋势, 但增幅明显减小. 实际的 RFID 工作中, 若能动态调整扩频码的长度, 将在提高吞吐量的基础上, 减少阅读器的搜索量, 降低能量损耗. 通过对算法性能的理论分析可知, PAMS 算法的防碰撞性能达到了理想状态, 吞吐量优于自适应多叉树算法.

4 算法仿真结果

通过计算机对 PAMS 算法($m = 8, m = 128$)与 BLBO 算法、MQT 算法、AMS 算法和 IAMS 算法进行仿真, 从总时隙数和吞吐率两个方面进行比较. 图2表示了 PAMS 算法与其他 4 种算法所需的总时隙数. 如图 2(a) 所示, 并行识别自适应多叉树算法所需的总时隙数比其他 4 种算法明显减少. IAMS 跳跃幅度较大, 但占用的值要更小. 以上算法中总时隙数最大值都超过了 1 500, PAMS 算法($m = 8$)所需总时隙数的最大值为 701, 图 2(b) 中 PAMS 算法($m = 128$)所需总时隙数更少, 最大值不超过 250. 通过以上比较发现, 并行识别自适应多叉树算法更适用于大数据集标签的情况.

图3表示 PAMS 算法与其他 4 种算法的吞吐量. 通过图 3(a) 可看出, PAMS 算法($m = 8$)的吞吐量要明显高于 BLBO 算法和 AMS 算法, BLBO 算法的吞吐量在 0.5 左右波动, 趋于稳定, AMS 算法的吞吐量在 0.5 和 0.6 之间. PAMS 算法($m = 8$)的吞吐量随标签变化的曲线轨迹与 AMS 算法类似, 较 AMS 算法提高了约 24.8%. MQT 算法的吞吐量在 0.6 与 0.8 之间浮动. 图 3(b) 中 PAMS 算法($m = 128$)的吞吐量较 AMS 算法提高了近 56.6%, 最高点当标签数量达到 500 时在 0.9 趋于稳定. IAMS 算法吞吐量的最高点与 PAMS 算法($m = 128$)的吞吐量曲线几乎重合, 也能够达到 0.9, 但其变化幅度相对于其他四种算法都要大, 同时, 当标签数量超过 800, 吞吐量骤减, 防碰撞性能明显低于 PAMS 算法.

5 结束语

本文提出一种并行识别的 RFID 自适应多叉树

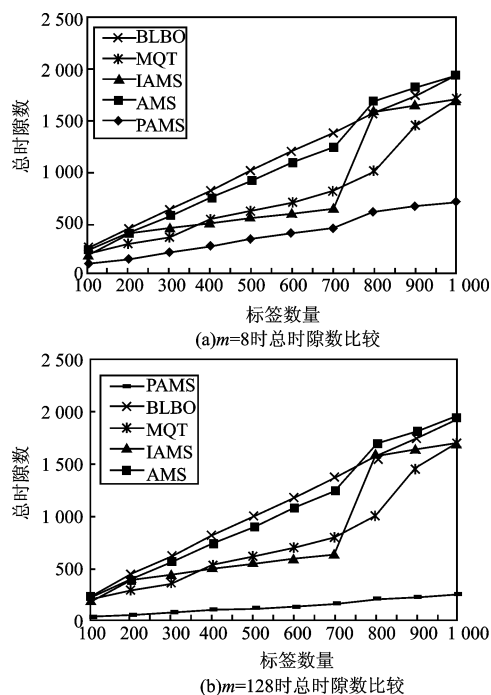


图 2 PAMS 算法与其他算法的总时隙数比较

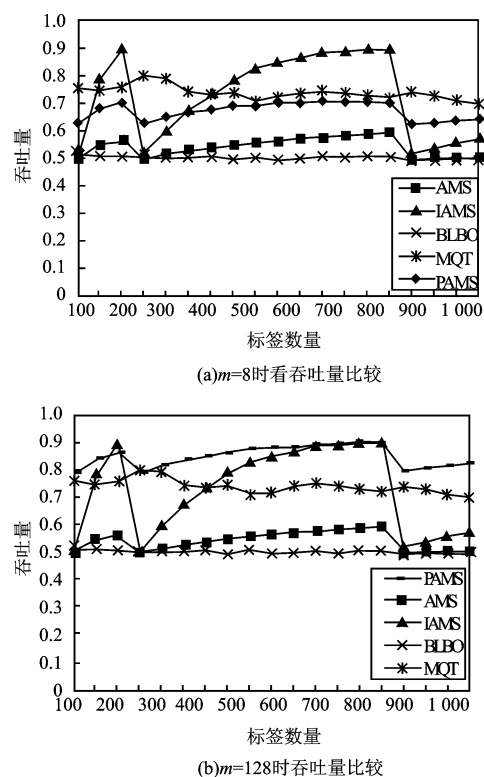


图 3 PAMS 算法与其他算法的吞吐量比较

防碰撞算法将 OVFS 扩频码技术嵌入到自适应多叉树算法中,在单一时隙内能够并行识别标签信息,

减小了标签发生碰撞的概率.理论分析和仿真结果表明,算法在减少总时隙数的基础上,有效地提高了吞吐量,在大数据集标签的情况下具有明显优势.

参考文献:

- [1] KFinkenzeller. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification [M]. Second Edition, New York: John Wiley, 2003:200-212.
- [2] 吴博,周铜,王栋. RFID 防碰撞算法分析与研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(8): 237-240.
- [3] Nikolaos Konstantinou. Expowave: An RFID anti-collision algorithm for dense and lively environments [J]. IEEE Transactions On Communications, 2012, 60(2): 352-356.
- [4] Yi Jiang, Ruonan Zhang. An adaptive combination query tree protocol for tag identification in RFID systems [J]. IEEE Communications Letters, 2012, 16(8): 1192-1195.
- [5] Xiaolin Jia. Stability analysis of an efficient anti-collision protocol for RFID tag identification [J]. IEEE Transactions On Communications, 2012, 60(8): 2285-2295.
- [6] Ming-Kuei Yeh, Jehn-Ruey Jiang. Parallel splitting for RFID tag anti-collision [J]. Int J Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2011, 8(4): 249-260.
- [7] 王雪,钱志鸿,胡正超,等. 基于二叉树的 RFID 防碰撞算法的研究[J]. 通信学报, 2010, 6(31): 49-57.
- [8] 丁治国,朱学永,郭立,等. 自适应多叉树防碰撞算法研究[J]. 自动化学报, 2010, 2(36): 237-242.
- [9] 王必胜,张其善. 可并行识别的超高频 RFID 系统防碰撞性能研究[J]. 通信学报, 2009, 6(30): 108-115.
- [10] Jongmin Shin, Byeongchan Jeon, Dongmin Yang. Multiple RFID tags identification with M-ary query tree scheme [J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(3): 604-608.
- [11] 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): 193-200.

作者简介:

白乐强 男, (1962-), 博士, 教授. 研究方向为无线传感网络技术、物联网技术开发与应用等. E-mail: m15040323721@163.com.

杨 晰 女, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感网络技术.