

基于比特查询的多进制树标签 防碰撞识别协议

苏 建,许若钰,姚永雷,庄 伟,王保卫
(南京信息工程大学计算机与软件学院,江苏南京 210044)

摘 要: 多标签碰撞问题被认为是射频识别系统中的一个关键问题. 近来,许多基于比特追踪技术的查询树算法被提出用于有效的解决标签碰撞问题,然而由于无用的碰撞比特信息和空闲时隙的存在,这些查询树算法的性能都有待进一步提升. 本文提出了一种基于比特查询的查询方法,该算法使得标签返回一个映射过比特串来取代原始的ID序列. 同传统的ID查询相比较,比特查询不仅可以消除空闲查询还可以将碰撞标签分成更多子集并充分利用碰撞比特信息. 基于该比特查询方法,我们提出了一种基于比特查询的多进制树(Bit query based M-ary tree, BQBMT)新型查询树算法,它通过多进制树迭代的分离碰撞,并通过比特查询模式和ID查询模式之间的最佳切换来快速识别标签. 理论分析和仿真结果显示,BQBMT算法的系统效率接近0.89,超过了现有的QT算法和混合防碰撞算法.

关键词: 射频识别; 防碰撞; 比特查询; 系统效率

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112(2019)02-0422-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2019.02.023

Bit Query Based M-ary Tree Anti-Collision Identification Protocol for RFID Tags

SU Jian, XU Ruo-yu, YAO Yong-lei, ZHUANG Wei, WANG Bao-wei

(School of Computer and Software, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: Multi-tags collision has been considered as a critical problem in RFID system. Recently, many query tree protocols based on bit tracking technology have been presented for resolving the tag collision efficiently. However, their performance need to be further improved because of unused collided bits and idle slots. In this paper, a bit query based method is presented, which requires the tag to respond a mapped bit string instead of its ID sequence. Compared with traditional ID query, it not only eliminate idle queries, but also can separate collided tags into many smaller subsets and make full use of the collided bits as well. Based on this method, a novel query tree protocol bit query based M-ary tree (BQBMT) is proposed, which recursively resolves collisions by forming a M-ary tree, and optimally switches from bit query mode to ID query mode for quickly identifying the tags when tag is readable. Theoretical analysis and simulation results show that the system efficiency of BQBMT is close to 0.89, which outperforms the other existing QT-based and hybrid algorithms.

Key words: RFID (Radio frequency identification); anti-collision; bit query; system efficiency

1 引言

近年来,射频识别技术RFID被用于目标管理引起了人们更广泛的关注,这源于它的低成本、快速识别、易于实现、恶劣环境中的鲁棒性等优点^[1]. 典型的射频识别系统往往由一个读写器和多个标签组成. 每个标签都拥有一个唯一识别码(unique identifier, ID),读写器

通过无线通信来识别它的覆盖区域内的标签. 然而在射频识别系统中,当多个标签同时出现在单个读写器的覆盖区域内时,读写器需要采用防碰撞算法来尽可能快的识别所有标签^[2].

RFID防碰撞算法可以归纳为基于树^[3-14]的算法和基于Aloha^[15-20]的算法. 基于Aloha的算法易于实现但是无法确保对标签的彻底成功识别,因为该算法存在

收稿日期:2018-09-05;修回日期:2018-12-12;责任编辑:马兰英

基金项目:国家自然科学基金(No. 61802196);江苏省自然科学基金(No. BK20180791);江苏省高校面上项目(No. 17KJB510036);南京信息工程大学人才启动经费(No. 2243141701031)

标签饥饿问题(即有些标签长时间内无法被成功识别). 基于树的算法可以避免标签饥饿问题如二进制树协议^[3,4]和查询树协议^[5-14]都迭代的将碰撞标签分成更小的两个子集,直到每个子集仅包含一个标签或没有标签为止. 不同之处在于查询树算法利用标签 ID 来分离碰撞标签,而二进制树协议利用随机二进制数来分离碰撞标签集.

一些研究者利用比特追踪技术^[5]来强化查询树算法性能,该技术允许读写器在一个碰撞时隙内检测碰撞比特的位置. 利用比特追踪,读写器能够锁定首位碰撞位并避免随后的连续碰撞^[6]. Lai 等提出了一种最佳查询追踪树(OQTT)协议,该协议采用比特估计算法(BEA)来估计标签数并对标签进行最佳分组,针对每个分组的标签,采用查询追踪树来快速识别^[7]. OQTT 算法的系统效率接近 61.4%. Zhang 等在文献[8]中提出了一种自适应分配树隙 Aloha(AdATSA)协议,它是文献[5]算法的提高版. 在 AdATSA 协议中,二进制分组和自适应识别被用来有效的估计标签数量和迅速的识别标签. AdATSA 的系统效率最大可以到 61.7%. 然而,这些算法的性能仍有许多提升空间. 原因主要有两方面:(1)在初始帧阶段存在大量空闲时隙,降低了总体系统效率;(2)在碰撞时隙中,标签在首位碰撞位之后所传递的 ID 序列皆为无用信息,从而造成了时间和能量的双重浪费.

多进制查询树(MQT)^[9]算法被提出,通过形成一个多进制树来取代传统的二进制树来分离碰撞标签,MQT 算法的系统效率维持在 73% 左右. 但是, M-比特序列和 ID 序列的联合发送,增加了通信负载. 当碰撞发生时, M-比特序列是有用的,但是随后的 ID 序列确被浪费掉了. 相反地,当一个时隙处于可读状态时, ID 序列是有用的,但是 M-比特序列被浪费了.

文献[10]最新提出了一种查询窗树(QwT)协议. 在 QwT 协议中,提出了一种窗口过程来管理标签所传递的比特流的长度,从而限制碰撞时隙中的能量浪费. 该协议以增加查询时隙数为代价降低了识别单个标签所需的传输数据量. 伴随能量效率提高的同时 QwT 算法却降低了系统效率. 另一个最新的研究工作,双前缀匹配方法(DPPS)^[11]被用来加强查询树算法的性能,它的系统效率可以达到 95%. 该协议在单个时隙内发送两个前缀将两个时隙糅合成一个来提高系统效率. 然而,对于标签而言,在一个时隙内传送两个 ID 不仅延长了时隙持续时间,而且增加了标签设计的复杂度,使得该方法难以适用于低成本标签.

本文中,我们提出了一种基于比特查询的查询机制来用于多进制查询协议. 一旦接收到比特查询消息,那些 ID 同查询前缀相匹配的标签就会响应该前缀并回

复相应数据. 同传统查询树方法不同之处在于,标签发送给读写器的数据不是剩余的 ID 序列,而是一个映射过的 M 比特的比特串,该比特串用于指示标签在 M 进制树中的位置. 基于该比特查询方法,我们引入了一种最佳选择机制来切换查询模式,从而提出了基于比特查询的多进制树(BQBMT)协议. 同 MQT 算法相比较, BQBMT 具有两种查询类型,并独立的发送映射比特串和 ID 序列. 通过这种方式,碰撞的标签可以被划分为更多的子集以及在碰撞时隙内浪费的比特数更少. 同基于估计的协议相比(例如文献[5~7, 13, 15~16]), BQBMT 不仅可以消除空闲时隙,还能降低复杂度.

2 比特查询多进制树协议

2.1 比特追踪和 ID 查询

为更好的阐述比特查询方法,我们首先简短的介绍目前应用广泛的比特追踪技术. 比特追踪通常基于曼彻斯特编码,它将 1 比特的值定义为一个比特窗内的电压转换. 在 RFID 系统中,每个标签发送的信号都是基于曼彻斯特编码. 因此,如 2 个标签同时传输 2 个不同的值,那么正负转换会相互抵消. 所以,曼彻斯特编码可以追踪每个独立比特所产生的碰撞,如图 1 所示.

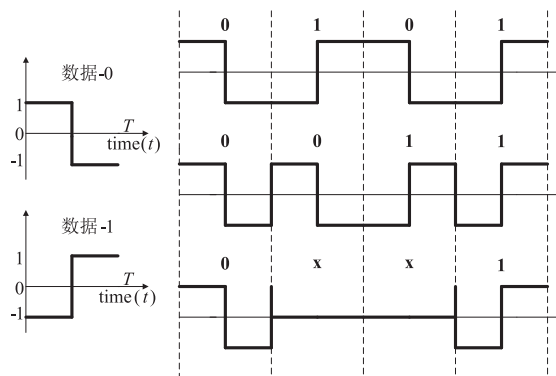


图1 曼彻斯特编码示例

图 2 给出了查询树算法采用比特追踪技术的一个示例. 读写器拥有一个堆栈 S 用于存放查询前缀,在初始化阶段,该堆栈存放一些初始化过的查询前缀. 那些 ID 同查询前缀相匹配的标签会响应读写器的查询命令,并返回剩余 ID. 我们将这种查询类型命名为 ID 查询,简短表示为 iq. 观察图 2 我们可以知道识别一个标签需要消耗多少时隙. 例如,识别 3 个标签需要消耗 5 个时隙. 即,识别一个碰撞时隙(节点)中的 r 个标签所需的时隙(树节点)可以表示为:

$$N(r) = 2r - 1 \quad (1)$$

2.2 比特查询多进制树

基于比特追踪技术,我们引出了比特查询方法. 当读写器发送一个比特查询消息(定义为 bq)后,那些 ID

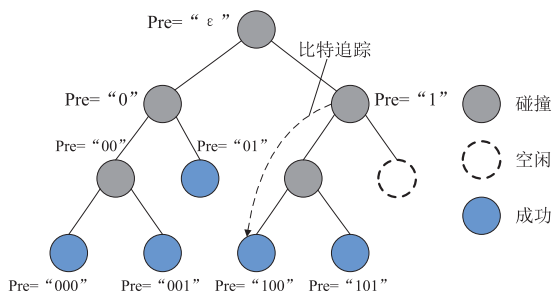


图2 查询追踪树

同查询前缀相匹配的标签会响应该 bq。在我们设计的比特查询中,标签不再回复剩余 ID,而是返回一个 M 比特的比特串,该比特串由标签剩余 ID 的高 m 位产生 ($M = 2^m$)。表 1 显示了 2 比特数据的映射结果,该映射结果由算法 1 (映射函数) 得到。

表 1 映射函数示例

| 原始 ID (2 比特) | 映射后的数据串 (4 比特) |
|--------------|----------------|
| 00 | 0001 |
| 01 | 0010 |
| 10 | 0100 |
| 11 | 1000 |

表 2 读写器接收信号

| | |
|-----------------|--------------------------|
| 标签 A 和标签 B (00) | 0001 |
| 标签 C (10) | 0100 |
| 标签 D (11) | 1000 |
| 读写器接收信号 | $\times \times 0 \times$ |

算法 1 映射函数

输入: m 位比特串 $b = b_{m-1}b_{m-2}\dots b_0$ (b_i : 二进制数)

输出: M 位比特串 $p = p_{M-1}p_{M-2}\dots p_0$ ($M = 2^m, b_i$: 二进制数)

1. 初始化 p , 使得 $p_0 = 1$ 以及其他 p_i 均为 0
2. for $j = 0$ to $m - 1$
3. $p \leftarrow p \ll b_j * 2^j$
4. end for

图 3 描绘了比特查询方法形成的一个多进制查询树的示例。读写器收到标签信号后,如表 2 所示,能够判断出比特串中 0 的位置代表空闲时隙,碰撞位代表碰撞时隙或成功时隙。上述识别过程详见表 3。

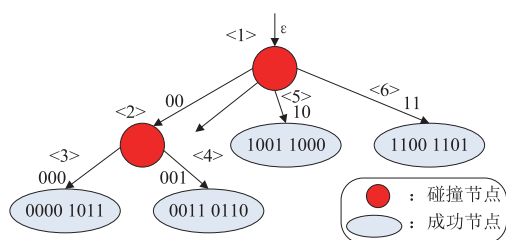


图3 多进制查询树

表 3 BQBMT 算法识别 4 个标签示例

| slot | query | respond | identification |
|------|--------------------|---------------------------------|----------------|
| <1> | (ϵ , bq) | $\times \times 0 \times$ | |
| <2> | (00, iq) | $\times \times \times 1 \times$ | |
| <3> | (000, iq) | 01011 | 00001011 |
| <4> | (001, iq) | 10110 | 00110110 |
| <5> | (10, iq) | 011000 | 10011000 |
| <6> | (11, iq) | 001101 | 11001100 |

对于比特查询而言,确定比特串长度 M 异常重要。典型地,标签的 ID 长度通常设为 128 比特^[5-8]。基于这个设置,我们将 M 取 128, 即 $m = 7$ 。

2.3 最佳查询类型选择

尽管比特查询在解决碰撞方面优于 ID 查询,但是它也存在一些短处。因此,读写器在识别过程中需要确定最佳查询策略。如果读写器能提前知道下一个时隙仅有一个标签响应,那么它会将查询类型从比特查询切换到 ID 查询。然而,由于读写器接收到的标签响应中的碰撞比特仅指示相应的子节点是否为空,所以读写器无法准确预测接下来的查询过程所涉及的标签数量。因此,为了找到最佳查询类型,读写器不得不估计非空节点所包含的标签。估计方法可以表示如下:

考虑到读写器同时接收 n 个不同标签的响应,在接收到的响应序列中,0 的个数为 E , 碰撞位的个数为 C ($E + C = M$)。换言之,对一个给定的根节点,分配到该节点的标签数为 n , 在这个根节点的所有子节点中,空节点的个数为 E , 非空 (包含碰撞节点和成功节点) 节点的个数为 C 。假定标签的 ID 分布是均匀的,那么每个子节点所分配的标签数为 r 的概率可以计算为:

$$B(r) = C_n^r \left(\frac{1}{M} \right)^r \left(1 - \frac{1}{M} \right)^{n-r} \quad (2)$$

其中空节点数的期望值可以计算为:

$$E = M * B(0) = M * \left(1 - \frac{1}{M} \right)^n \quad (3)$$

当 M 值足够大时,我们有 $\left(1 - \frac{1}{M} \right) \approx e^{-\frac{1}{M}}$ 。因此,式 (3) 可以近似为:

$$E = M * e^{-\frac{n}{M}} = M e^{-\lambda} \quad (4)$$

其中 $\lambda = \frac{n}{M}$ 。

对于父节点 p , 它的非空子节点的个数为 C , 其中每个子节点包含 r_i ($i = 1, \dots, C$) 个标签。如果采用 ID 查询方法来访问一个子节点,依据式 (1), 识别一个子节点 c_i 中所有的标签所需的时隙数可以计算为:

$$N_1(c_i) = 2r_i - 1 \quad (5)$$

因此,读写器识别父节点 p 所包含的所有标签所需的时隙数可以计算为:

$$\begin{aligned} N_1(p) &= 1 + \sum_{i=1}^c N_1(c_i) = 1 + \sum_{i=1}^c 2r_i - 1 \\ &= 2n - C + 1 \end{aligned} \quad (6)$$

另一方面,采用比特查询识别一个包含 r_i 个标签的子节点 c_i ,所需的时隙数可以表示为:

$$N_2(c_i) = r_i + 1 \quad (7)$$

其中 r_i 表示孙节点的个数,1 表示当前这个子节点. 从而,采用比特查询识别父节点 p 中所有标签所需的时隙数可以表示为:

$$\begin{aligned} N_2(p) &= 1 + \sum_{i=1}^c N_2(c_i) = 1 + \sum_{i=1}^c (r_i + 1) \\ &= n + C + 1 \end{aligned} \quad (8)$$

假设读写器采用 ID 查询所耗费的时隙数比比特查询更少,即:

$$N_2(p) \geq N_1(p) \quad (9)$$

通过式(6)~(8),我们有:

$$C \geq \frac{1}{2}n \quad (10)$$

利用式(4),我们有:

$$C = M - E = M(1 - B(0)) \approx M(1 - e^{-\lambda}) \quad (11)$$

比较式(10)和式(11),可以得出:

$$M(1 - e^{-\lambda}) \geq \frac{1}{2}\lambda M \quad (12)$$

$$\Rightarrow \frac{1 - e^{-\lambda}}{\lambda} \geq \frac{1}{2} \quad (13)$$

$$\Rightarrow \lambda \leq 1.6 \quad (14)$$

$$\Rightarrow n = \lambda \leq 1.6M \quad (15)$$

$$\Rightarrow E = Me^{-\lambda} \geq 0.2M \quad (16)$$

上述式子揭示了如果读写器接收到的比特串中数字 0 的比率超过 0.2 的话,查询类型从比特查询切换到 ID 查询会更加有效,具体的切换算法如算法 2 所示.

算法 2 查询类型切换函数(Qtype_select)

输入: M 位比特串 $p = p_{M-1}p_{M-2}\dots p_0$

输出: 查询类型 $q.type$

1. 统计比特串 p 中 0 的个数并将其赋值给 E
2. if $E/M \geq 0.2$
3. $q.type = iq$
4. else
5. $q.type = bq$
6. end if

2.4 基于比特查询的多进制树算法(BQBMT)

综上所述,BQBMT 算法的伪代码如算法 3 所示,其查询类型切换函数见算法 2.

算法 3 BQBMT 算法伪代码

01. 初始化 $q.string = \varepsilon, q.type = bq$
02. 将 q 压入堆栈 S
03. while $S! = NULL$
04. $q = POP(S)$
05. 发送 q
06. 接收标签信号 r
07. if $q.type = bq$
08. $Type = Qtype_select(r)$
09. for $i = 1$ to M
10. if $ri = 0$
11. $q.string = q.string + binary(i - 1);$
12. $q.type = Type$
13. 将 q 压入堆栈 S
14. end if
15. end for
16. else
17. if 单个标签响应
18. 识别该标签
19. else if 标签碰撞
20. 记录碰撞比特位数 N_c
21. if $N_c = 1$
22. 识别 2 个标签
23. else
24. 识别首位碰撞位的位置
25. 将 $q + r_1 \dots r_i - 1 + "1"$ 压入堆栈 S
26. 将 $q + r_1 \dots r_i - 1 + "0"$ 压入堆栈 S
27. end if
28. end if
29. end if
30. end while

2.5 性能分析

为了推导本文所提出的 BQBMT 算法的性能,我们假设读写器能够完美的选择查询类型. 值得注意的是,初始查询为比特查询,我们可以推导出读写器识别 n 个标签所需的总的查询次数为:

$$N(1) = 2 \quad (17)$$

$$N(n) = 1 + M * B(1) + \sum_{r=2}^n M * B(r) * N(r), n \geq 2 \quad (18)$$

其中 $B(r)$ 为某个子节点中存在 r 个标签的概率,该概率表达式见式(2). 由于 $B(r)$ 针对不同的 n 其取值不同,所以式(18)难以给出解析解,但是我们可以导出 $N(n)$ 的上界并推导出以下引理.

引理 1 读写器采用 BQBMT 算法识别 n 个标签,所需的时隙数的上界可以表示为:

$$N(n) \leq 1.5n + 1 \quad (19)$$

证明 对于 M 进制树中的根节点,如果采取 ID 查询,那么所需的时隙数可以用式(6)表示. 另一方面,如果采用比特查询,那么所需的时隙数可以用式(8)表示. 因此,考虑到 BQBMT 算法最佳的选取查询类型,读

写器识别所有标签所需的时隙数为:

$$\begin{aligned} N(n) &= \min(N_1(p), N_2(p)) \\ &= \min(2n - C + 1, n + C + 1) \\ &\leq 1.5n + 1 \end{aligned} \quad (20)$$

式(20)等式的条件是 $C=0.5n$, 因此引理 1 得证.

根据引理 1, 本文所提出的 BQBMT 算法的系统效率的下界为:

$$eff_i = \frac{n}{N(n)} \geq 0.66 \quad (21)$$

3 仿真结果

本节采用蒙特卡洛仿真方法验证了本文所提出的 BQBMT 算法的性能, 并同现有算法进行了对比, 包括 MQT 算法[9], ImATSA 算法[8] 和 OQTT[7] 算法. 仿真采取的性能衡量指标有三个, 总时隙数、系统效率和通信负载. 通信负载表示标签识别过程中读写器识别一个标签所需的平均传输数据量. 该指标影响 RFID 系统的能量效率. 图 4 显示了各个算法识别特定标签数所需的总时隙数. 从图 4 中我们可以观测到, BQBMT 算法识别相同数量的标签, 所需的时隙数最少. 例如, 同样识别 2000 个标签, BQBMT 算法只需要 2246 个时隙, 而 MQT、OQTT 和 ImATSA 算法分别需要 2745 个时隙、3265 个时隙以及 3350 个时隙. 如果考虑每个时隙的持续时间都相同的话, BQBMT 算法识别所有标签所需的时间会更短. 从图 4 中我们同样可以发现, MQT 算法优于 OQTT 和 ImATSA 算法, 原因在于多进制树可以将碰撞标签分成更小的子集并避免空节点.

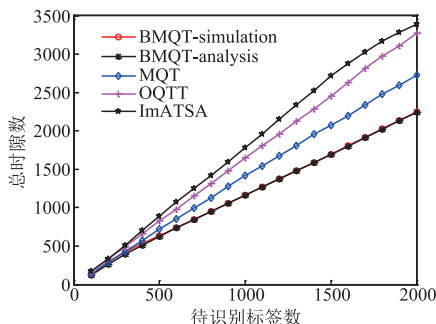


图4 仿真结果：总时隙数

图 5 比较了各个算法的系统效率. 我们从仿真结果中可以看出, BQBMT 算法可以实现更高的系统效率, 随着标签数的增加其平均系统效率接近 0.89. 其性能优越的原因在于, BQBMT 算法中一个父节点可以有 128 个子节点, 而 MQT 算法, 最佳子节点数为 16. 同 MQT 算法相比, BQBMT 算法可以将碰撞标签划分成更多和更小的子集, 从而使得标签更容易被识别. 因此, BQBMT 算法可以极大的减少碰撞时隙数和提高识别效率. OQTT 算法和 ImATSA 算法分别可以

实现 0.614 和 0.586 的系统效率. 尽管这些算法都采用了比特追踪技术, 但是它们未能在初始帧阶段避免空闲, 从而导致了系统效率的降低. BQBMT 算法和 MQT 算法都能彻底避免空节点. 特别对于 BQBMT 算法, 当子节点数量远大于标签数时, 多数节点都为空, 而其他节点都被单个标签所占. 由于识别过程中规避了空节点, 剩余节点大多为成功节点, 因此其系统效率接近 1. 此外, OQTT 算法采用比特估计方法, 利用一个时隙或少量时隙来估计标签数并调整合适的帧长, 从而比 ImATSA 算法的估计策略更有效, 因此, OQTT 算法具有更高的系统效率.

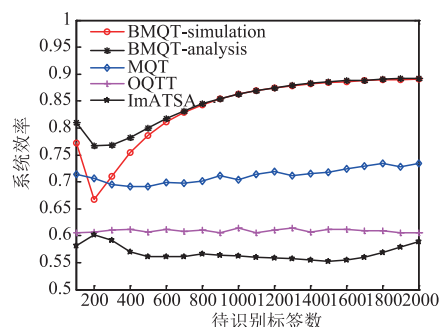


图5 仿真结果：系统效率

图 6 描绘了上述算法平均识别单个标签所需的传输数据量. 从图中可以看出, BQBMT 算法可以维持最佳性能, 除了标签数为 200 的时候. 当 $n=200$ 时, 系统效率较低, 产生了更多的碰撞, 因此所需的传输数据量变大. 对于其他的 n 值, BQBMT 算法的通信负载最低, 因为系统效率变高和大多数标签都只需要传递映射数据, 只有在很少的时候传输 ID 数据. 然而, 随着标签数量的增多, 其通信负载也呈现一定的上升趋势, 即识别单个标签所需的传输数据量有轻微的增加, 原因如下. 识别单个标签所需的传输数据量取决于它在多进制树中的位置. 特别地, 识别某个标签的所需的查询深度就是标签传输 ID 数据或映射数据给读写器的次数. 随着标签数的增多, 多进制树的的平均查询深度也会随之增加. 因此, 传输次数和单个标签的传输数据量也会增加. 总言之, 本文提出的 BQBMT 算法在能量效率方面更优.

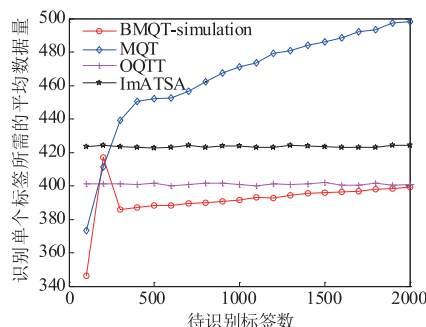


图6 仿真结果：通信负载

4 总结

本文中,我们提出了一种快速而能效的标签识别协议,名为 BQBMT 算法. 在该算法中,采取了两种查询命令,分别数 ID 查询和比特查询. 在比特查询中,标签将自身 ID 的 m 位映射成 M 位的比特串来建立多进制树. 根据接收到的响应序列中 0 的比率,读写器可以为下一次查询选取最优的查询方式. 利用比特查询, BQBMT 算法不仅可以避免空节点,而且可以将碰撞标签分成更多的子集. 本文也导出了 BQBMT 算法的性能下界. 仿真结果显示 BQBMT 算法的最高系统效率高达 89%,进一步显示该算法在时隙数和通信负载方面具有良好优势.

参考文献

- [1] Lehto Arttu, Nummela Jussi, Ukkonen Leena, Sydaenheimo Lauri, Kivikoski, Markku. Passive UHF RFID in paper industry: challenge, benefits and the application environment [J]. IEEE Tran Autom Sci Eng, 2009, 6(1): 66 - 79.
- [2] Zhu Lei, Yum Tak-Shing Peter. A critical survey and analysis of RFID anticollision mechanisms [J]. IEEE Commun. Mag., 2011, 49(5): 214 - 221.
- [3] Wu Hai-feng, Zeng Yu. Bayesian tag estimate and optimal frame length for anti-collision Aloha RFID system [J]. IEEE Trans Autom Sci Eng, 2010, 7(4): 963 - 969.
- [4] Su Jian, et al. Idle-slots elimination based binary splitting anti-collision algorithm for RFID [J]. IEEE Commun. Lett, 2016, 20(12): 2394 - 2397.
- [5] Zhang Li-juan, Zhang Jin, Tang Xiao-hu. Assigned tree slotted Aloha RFID tag anti-collision protocols [J]. IEEE Trans Wireless Commun, 2013, 12(11): 5493 - 5505.
- [6] Lai Yuan-cheng, et al. Optimal slot assignment for binary tracking tree protocol in RFID tag identification [J]. IEEE/ACM Trans Netw, 2015, 23(1): 255 - 268.
- [7] Lai Yuan-cheng, et al. A novel query tree protocol with bit tracking in RFID tag identification [J]. IEEE Trans Mobile Comput, 2013, 12(10): 2063 - 2075.
- [8] Zhang Li-juan, et al. An adaptive anti-collision protocol for large-scale RFID tag identification [J]. IEEE Wireless Commun Lett, 2014, 3(6): 601 - 604.
- [9] Shin Jong-min, Jeon Byeong-chan, Yang Dong-min. Multiple RFID tags identification with M-ary query tree scheme [J]. IEEE Commun Lett, 2013, 17(3): 604 - 607.
- [10] Landaluce Hugo, et al. An energy and identification time decreasing procedure for memoryless RFID tag anti-collision protocols [J]. IEEE Trans Wireless Commun, 2016, 15(6): 4234 - 4247.
- [11] Su Jian, Sheng Zheng-guo, Wen Guang-jun, Leung Victor C. M. A time efficient tag identification algorithm using dual prefix probe scheme (DPPS) [J]. IEEE Signal Process Lett, 2016, 23(3): 386 - 389.
- [12] Qian Chen, et al. ASAP: Scalable collision arbitration for large RFID systems [J]. IEEE Trans Parallel Distrib Syst, 2013, 24(7): 1277 - 1288.
- [13] Shahzad Muhammad, Liu Alex X. Probabilistic optimal tree hopping for RFID identification [J]. IEEE/ACM Trans Netw, 2015, 23(3): 796 - 809.
- [14] Landaluce Hugo, Perallos Asier, Garcia Zuazola I J. A fast RFID identification protocol with low tag complexity [J]. IEEE Commun Lett, 2013, 17(9): 1704 - 1706.
- [15] Vales-Alonso Javier, et al. Multiframe maximum-likelihood tag estimation for RFID anticollision protocols [J]. IEEE Trans Ind Informat, 2011, 7(3): 487 - 496.
- [16] Chen Wen-Tzu. An accurate tag estimate method for improving the performance of an RFID anticollision algorithm based on dynamic frame length Aloha [J]. IEEE Trans. Autom Sci Eng, 2009, 6(1): 9 - 15.
- [17] Su Jian, et al. An efficient sub-frame based tag identification algorithm for UHF RFID systems [J]. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC), 2016. 1 - 6.
- [18] Chen Wen-Tzu. A feasible and easy-to-implement anti-collision algorithm for the EPCglobal UHF class-1 generation-2 RFID protocol [J]. IEEE Trans Autom Sci Eng, 2014, 11(2): 485 - 491.
- [19] Solic Petar, Radic Josko, Rozic Nikola. Energy efficient tag estimation method for ALOHA-based RFID systems [J]. IEEE Sensors J, 2014, 14(10): 3637 - 3647.
- [20] Su Jian, Sheng Zheng-guo, Hong Dan-feng, Wen Guangjun. An effective frame breaking policy for dynamic framed slotted Aloha in RFID [J]. IEEE Commun Lett, 2016, 20(4): 692 - 695.

作者简介



苏 健(通信作者) 男, 1986 年生, 湖北荆州人. 2012 年和 2016 年分别在华中师范大学和电子科技大学获工学硕士和工学博士学位. 现为南京信息工程大学教师, 主要从事物联网技术、无线传感器网络及反向散射通信等方面的研究工作, 在 SCI 期刊上发表学术论文十几篇.
E-mail: 504739218@qq.com

许若钰 女, 1995 年生, 山西忻州人. 现在南京信息工程大学攻读硕士学位. 主要从事物联网技术相关研究.