

增强型 Q 参数混合防碰撞算法

张学军^{1,2}, 马军飞¹, 陈彦君¹

(1. 南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003;

2. 南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003)

摘 要: 标签碰撞是射频识别系统的关键问题, 它增加了系统的时间开销和无源标签的能量消耗, 降低了系统识别速率。文章提出了一种增强型 Q 参数混合防碰撞算法-EQH 算法, 该算法通过检测一定数目的标签响应时隙的状态, 对其中的连续碰撞时隙和空闲时隙的信息进行分析, 快速调整帧的大小, 同时标签中引入一个特殊寄存器, 使分配到每个时隙的标签能够被快速识别, 减少了时隙的消耗。性能分析和仿真结果显示, 该算法能够快速、准确地估算标签的数目, 且具有较高的系统识别率。

关键词: 射频识别; 标签估算; 连续时隙状态; 混合防碰撞算法

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)08-0047-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.012

An Enhanced Q Parameter Hybrid Anti-collision Algorithm

ZHANG Xue-jun^{1,2}, MA Jun-fei¹, CHEN Yan-jun¹

(1. College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210003, China;

2. Key Laboratory of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology of Ministry of Education,
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Tag collision is a key issue of radio frequency identification system. It increases the time overhead of the system and the energy consumption of the passive tag, reducing the identification rate. An enhanced Q parameter hybrid anti-collision algorithm (EQH) was proposed by detecting and analyzing tag response time slots state in consecutive slots to quickly adjust the size of the frame, at the same time, a special register is introduced into the tag so that it can be identified quickly and reduce the consumption of the time slot. Performance analysis and simulation results show that the proposed algorithm is able to quickly and accurately estimate the number of tag labels and has higher identification efficiency.

Key words: Radio Frequency Identification (RFID); tag evaluation; continuous slot state; hybrid anti-collision algorithm

0 引 言

射 频 识 别 (Radio Frequency Identification, RFID)^[1] 技术, 作为快速、实时、准确采集与处理信息的高新技术和信息标准化的基础, 其在物流、跟踪、定位等领域已得到广泛的应用, 被公认为 21 世纪十大重要技术之一^[2]。其中, 用于解决阅读器作用范围内的多个标签识别问题的防碰撞算法是该领域研究的热点之一。

典型的 RFID 系统主要由阅读器 (Reader)、电子标签 (Tag) 和计算机网络等三个部分组成, 如图 1 所

示。RFID 系统的工作原理是阅读器通过天线在空间建立电磁波传输通道, 同时利用电磁波为标签提供能量, 实现与射频标签的通信, 阅读器将采集到的信息传入计算机后端数据库处理, 实现无线通信。

在 RFID 系统中最大的不足就是由于碰撞而降低了识别的效率。当多个标签同时响应阅读器时会引起标签碰撞。为了解决这个问题, 不同的防碰撞算法利用不同的方法使阅读器识别范围内的标签能够按照一定的规则响应阅读器, 从而大大提高识别的效率。

文中提出了一种增强型 Q 参数混合防碰撞算法

收稿日期: 2012-11-07

修回日期: 2013-02-20

网络出版时间: 2013-04-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60973140, 61001077, 61170276); 南京邮电大学自然科学基金项目 (NY211076)

作者简介: 张学军 (1969-), 男, 江苏南通人, 副教授, 硕士, 研究方向为无线射频识别技术、通信网络的性能分析、流量控制、QoS 理论与技术等; 马军飞 (1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为无线射频识别技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1729.063.html>

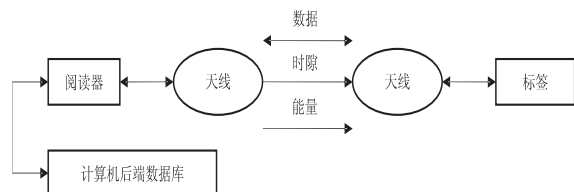


图 1 典型 RFID 系统结构图

(Enhanced Q parameter Hybrid anti-collision algorithm, EQH)。该算法分为两个阶段,第一阶段根据时隙连续碰撞位或空闲位的信息快速估算标签的数量,调节时隙的大小达到一个理想值;第二阶段利用标签特殊寄存器快速识别每个时隙中的标签,减少标签与阅读器之间的通信次数,增加系统的吞吐率。文章通过数学分析,准确地描述了该算法评估标签数目的原理和识别标签所需的时隙数。仿真结果表明,文中提出的防碰撞算法比 TSA 算法、QT 算法、 Q 算法的识别速度和识别效率都有明显的提高。

1 相关防碰撞算法介绍

常用的防碰撞算法一般可以分为两类^[3]。

一类是基于时隙分配机制的 ALOHA 算法,其原理是采用电子标签控制方式,即射频标签一旦进入阅读器的作用范围内,就主动向阅读器发送自身的识别码,随即与阅读器开始通信。常见的算法包括时隙 ALOHA (Slotted ALOHA, SA)^[4] 算法、帧时隙 ALOHA (Frame Slotted ALOHA, FSA)^[5] 算法以及动态帧时隙 ALOHA (Dynamic Frame Slotted ALOHA, DFSA)^[6] 算法等。其特点是算法原理简单,易于实现,在低成本 RFID 系统应用较多。由于此类算法基于时隙的随机分配,因此存在一定的概率性,使得某一个标签在相当长的一段时间内无法识别,即“tag starvation”问题,所以这类算法被称为概率型算法。

另一类是基于树的算法^[7],其原理是当标签发生碰撞时,利用标签识别码或随机二进制数 0 和 1 将一个标签集分成两个子集,阅读器继续对子集进行分解,直到子集只有一个标签为止,循环查询识别所有标签,此类包括二进制搜索树 (Binary Search Tree, BST)^[8] 算法、查询树 (Query Tree, QT)^[9] 算法、混合查询树 (Hybrid Query Tree, HQT)^[10] 算法、双时隙碰撞跟踪树 (Bi-Slotted Collision Tracking Tree, BSCTT)^[11] 算法、基于标签识别码分组的连续识别防碰撞算法 (Uninterrupted anti-collision algorithm with ID-based Grouping, UIG)^[12]、双时隙的快速标签识别 (Rapid Tag Identification Method with Two Slots, RTIMTS)^[13] 算法、改进型查询树 (Improved Query Tree, IQT)^[14] 算法以及自适应分割 (Adaptive Binary Splitting, ABS)^[15] 算法等。该类算法比较复杂,识别时间较长,但不存在“tag starvation”问题,又称为确定型算法。

为了避免上述问题,出现了许多新颖的混合防碰撞算法,如树时隙 ALOHA (Tree Slotted Aloha, TSA)^[16,17] 算法、二进制树时隙 Aloha (Binary Tree Slotted Aloha, BTSA)^[18] 算法。

1.1 树时隙 ALOHA 算法

TSA 算法的核心思想是在每个时隙中利用二进制树算法对碰撞标签进行分割,每个标签都需要记忆当前帧产生的一个随机数和记录树的层数。假设 l_0 为初始帧的大小,TSA 算法步骤为:

(1) 阅读器广播一个查询命令来确定帧 l_i 大小。

(2) 每个标签选择一个随机数 $1 \sim l_i$ 在响应的时隙发送 ID 给阅读器,如果没有发生碰撞,则识别该标签。如果发生碰撞,则在树中增加一个新的节点,标签将存储产生的随机数,并且树的层数计数器加 1。

(3) 重复(2)直到在一个循环中没有碰撞,则识别结束。

TSA 算法相对于二进制树算法,该算法将树的深度减少为 $\log_2(\log_2 n)$,且比 DFSA 算法具有较高的识别效率。

1.2 二进制树时隙 ALOHA 算法

BTSA 算法是基于 TSA 算法的。在 TSA 算法中,当帧的初始长度接近标签数时,算法识别效率较高,而阅读器初始化帧的长度一般为一个固定值,因此 TSA 算法的识别效率并不高。BTSA 算法提出了动态 BTSA 协议、自适应 BTSA 协议和分割 BTSA 协议等 3 种典型的模式来解决该问题。

(1) 动态 BTSA 协议是利用 Q 算法,检测第 1 个时隙的状态,如果是碰撞,则将 Q 值加 1,如果第 1 个是空闲时隙,则将 Q 值减 1,否则,则认为帧的大小处于较理想的状态,然后执行 TSA 算法。

(2) 自适应 BTSA 协议在标签估算状态时,利用一个权值,碰撞时隙在阈值范围之内时,就采用 TSA 算法,否则就调整 Q 值。

(3) 分割 BTSA 协议执行过程是阅读器重复地分割左边标签的集合直到阅读器检测出最左边的标签是一个成功时隙或是空闲时隙,当分割结束后,右边的标签集合同时产生,由于协议采用随机二进制分割,可以保证较高的识别效率。

1.3 可变 Q 参数算法

可变 Q 参数算法^[19] 是一种基于连续时隙状态检测的防碰撞算法,通过对连续时隙状态的估算不断地改变 Q 值的大小,从而达到较理想的帧长。该算法的基本估算步骤为:

(1) 阅读器发送带初始 Q 值的 QueryAdjust 命令,标签收到阅读器发送的命令后,从 $[0, 2^Q]$ 中随机选择一个随机数保存在标签计数器中。

(2) 判断1帧的前3个时隙状态。若为碰撞状态,则 $Q = Q + 1$; 若为空闲状态,则 $Q = Q - 1$; 否则 Q 值不变,如果 Q 值连续3次不发生改变,则 Q 值为最优值,否则跳转到步骤3执行。

(3) 阅读重新发送 QueryAdjust 命令,标签随机选择时隙数 $[0, 2^Q]$, 跳转到步骤2继续执行。

利用连续碰撞位估算标签的数目是一种新颖的标签估算算法,通过对连续时隙状态的检测,不断地改变帧的大小,并且可以达到较高的精确度。

2 EQH 算法

在概率型标签防碰撞算法中,标签估算是算法的关键,常用的标签估算算法如基于切比雪夫等式、标签识别率、 Q 算法以及可变 Q 参数的估算算法,这些估算算法可能存在估算时间过长、估算标签计算量较大、估算精度不够等缺点,而且标签识别阶段需要不断查询和改变帧的大小,其识别效率较低。文中提出 EQH 算法的识别过程分为两个阶段:在帧估算阶段采用增强型可变 Q 参数算法快速估算标签数量;标签识别阶段引入特殊寄存器使标签能够快速识别。

2.1 增强型的可变 Q 参数算法

在可变 Q 参数算法中, Q 值的改变在每次查询中只改变1,为了减少循环查询次数,文中提出了增强型可变 Q 参数算法。假设阅读器包含4个计数器: C_{ti} (空闲时隙计数器)、 C_{rc} (碰撞时隙计数器)、 $C_s = 12$ (Q 值调整时隙计数器)、 $C = 0$ (在 C_s 个时隙中连续3个时隙碰撞或空闲的个数差)。增强型 Q 参数算法步骤为:

(1) 阅读器发送带初始 Q 值的 QueryAdjust 命令,标签收到阅读器发送的命令后,从 $[0, 2^Q]$ 中随机选择一个随机数保存在标签计数器中。

(2) 阅读器根据标签的响应记录时隙状态,同时时隙计数器 C_s 减1,若是碰撞时隙,则 C_{rc} 加1,若是空闲时隙,则 C_{ti} 加1,然后接着检测下一个时隙状态,如果下一个时隙与上一个时隙的状态相同,即同为空闲时隙或碰撞时隙,则在相应的时隙状态计数器上加1,否则时隙计数器置0。

(3) 若 $C_{ti} = 3$,则 $C = C - 1$, C_{ti} 置0;若 $C_{rc} = 3$,则 $C = C + 1$, C_{rc} 置0。

(4) 若 $C_s = 0$,如果 $C = 0$,则结束标签估算;否则调整 $Q = Q + C$,执行步骤1。

增强型可变 Q 参数帧估算算法每发送一次 QueryAdjust 命令可以跳跃式地改变 Q 值,能够在短时间内估算出较为理想的帧。

2.2 EQH 算法的标签识别算法—基于特殊寄存器的快速标签识别算法

在 EQH 算法中,标签中有1个特殊寄存器 C_{ii} ,它

具有下述特征:

i) 寄存器的所有位只能有一个1,其余各位均为0(或只有1位是0,其余各位是1);

ii) 寄存器可以随机循环移位。

运用特殊寄存器使阅读器能够在碰撞时隙中快速地识别多个标签。

标签中还有1个时隙计数器 C_{is} 。多个标签的时隙计数器 C_{is} 具有相同值时,由于 C_{ii} 中随机选择的值不同,根据 C_{ii} 的信息,阅读器可同时识别多个标签。阅读器中包含时隙计数器 C_{is} ,帧的长度 $L = 2^Q$ 。基于特殊寄存器的快速识别算法的标签识别步骤为:

(1) 阅读器发送 QueryRequest 命令。

(2) $C_{is} = 0$ 的标签响应,并回送 C_{ii} 的值给阅读器。阅读器分析碰撞位的信息,将碰撞位分别置1,并压栈,转步骤3。如果没有标签响应,则表明是空闲时隙,阅读器发送 QueryNext 命令,并将标签的 C_{is} 减1,阅读器的 C_{is} 也减1。

(3) 阅读器将栈中的信息出栈,阅读器发送带 C_{ii} 的 QueryRequest 命令, C_{is} 为0的标签且与标签 C_{ii} 的信息相同的标签响应阅读器。若只有一个标签响应,则识别该标签;若发生碰撞,则记录该信息,接着识别其他标签,在阅读器将栈中的信息查询一遍后,给发生碰撞的标签发送 C_{ii} 随机移位命令,跳转到步骤2继续执行,否则跳转到步骤4执行。

(4) 栈中的信息为空, $C_{is} = C_{is} - 1$,若 C_{is} 的值为零,则识别过程结束。否则跳转到步骤2执行。

EQH 算法的伪代码如图2所示。

下面举例说明碰撞时隙的标签识别过程。假设在某1个碰撞时隙中存在6个标签发生碰撞,其特殊寄存器 C_{ii} 的值分别为:00100000,01000000,00100000,00000001,00000001,00000100,则阅读器接收到的信息为 0xx00x0x,阅读器将信息 01000000,00100000,00000100,00000001 进栈,然后阅读器分别用带此信息的查询命令进行查询,则 C_{ii} 为 01000000 和 00000100 的标签能够识别,而 00100000 和 00000001 查询时发生碰撞,阅读器发送随机移位命令使处于活动状态且 C_{is} 为0的标签的特殊寄存器随机的移位,然后重新执行上述查询命令,直到识别该时隙所有的标签,然后再进行下一个时隙的识别。

识别过程如表1所示。

3 算法仿真与分析

假设在阅读器识别范围内,有 N 个待识别标签,基于连续时隙状态检测得到的帧长为 $L = 2^Q$,则在一个时隙中有 k 个标签的概率为:


```
EQH protocol: Reader operation
Cs=12, C=0
Cs=2Q
Broadcast QueryAdjust with 2Q
While (Cs=0)
    Receive tag response and detect a collision
    If three continuous slots collision
        Cic=Cic+1
        C=C+1
    Else if three continuous slots idle
        Cis=Cis+1
        C=C+1
    Else
        Cs=Cs-1
    End if
End
Q=Q+C
Broadcast QueryAdjust with 2Q
While (Cs=0)
    Receive tag response and detect a collision
    If collision
        Judgment Cis, push information to stack
        IdentifyProcess ()
    End
    Send QueryNext command
    Cis=Cis-1
End
Function IdentifyProcess ()
While (stack!=NULL)
    Flag=1
```

```
While (stack!=NULL)
    Cis=Pop ()
    Send query with Cis command
    If Identify
        Next
    Else
        Flag=1
    End
End
If (Flag=1)
    Send shift command make Cis random shift which
    Cis=0
End
End

EQH protocol: Tag operation
First:
While receive Reader's QueryAdjust with 2Q
    Transmitted ID in relevant slot
End
Second:
If receive Reader's QueryAdjust with 2Q
    Cis=random number form 0 to 2Q-1
End
If receive QueryNext command
    Cis=Cis-1
end
If Cis=0 Transmitted ID
    If Receive shift command
        Cis random shift
        Transmitted ID
    Else
        Transmitted ID
    End
End
End
```

图 2 EQH 算法步骤伪代码

表 1 单个时隙标签识别过程

查询	标签和 C _{is} 的值	阅读器收到的信息	查询信息	状态
1	标签 1 00100000	0xx00x0x	01000000	识别: 标签 2
	标签 2 01000000	进栈信息:	00100000	碰撞: 标签 1,3
	标签 3 00100000	01000000	00000100	识别: 标签 6
	标签 4 00000001	00100000	00000001	碰撞: 标签 4,5
	标签 5 00000001	00000100		
	标签 6 00000100	00000001		
2	标签 1 00100000	x0xx000x	00100000	识别: 标签 1
	标签 3 00010000	进栈信息:	00010000	识别: 标签 3
	标签 4 10000000	00100000	10000000	识别: 标签 4
	标签 5 00000001	00010000	00000001	识别: 标签 5
		10000000		
		00000001		

$$p(n) = \binom{N}{k} \left(\frac{1}{L}\right)^k \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{N-k} \tag{1}$$

当 $N \gg 1, L \gg 1$ 时, 同一个时隙存在 2 个以上标签的概率分别为:

$$p(2):p(3):p(4):p(5):\cdots:p(i):\cdots = 1:\frac{N}{3L}:\frac{N^2}{12L^2}:\frac{N^3}{60L^3}:\cdots:\frac{2N^{i-2}}{i!L^{(i-2)}}:\cdots \tag{2}$$

由式(2)可得, 在 1 个时隙中标签数目大于 3 的概率比较小, 而标签的特殊寄存器具有 8 种情况供标签随机选择, 所以发生碰撞的概率为:

$$p_c = p(2) + p(3) = \binom{3}{2} \left(\frac{1}{8}\right)^2 \left(\frac{7}{8}\right) + \binom{3}{3} \left(\frac{1}{8}\right)^3 \left(\frac{7}{8}\right)^0 \approx 0.042 \tag{3}$$

当标签的数目在 0.75L 与 1.5L 之间时, 认为当前帧长是较为精确的。运用 Matlab 软件与脚本语言 (Ruby) 对文中所提出的标签估算算法进行仿真, 标签数量从 1~1000 变化时, 估算 Q 值与实际标签数目之

间的关系如图 3 所示, 显示了标签每隔 10 个变化时 Q 值的变化情况, 标签的数目接近于 1.5L 或 0.75L 时, 由于碰撞的概率与空闲的概率相当, 出现 Q 值的上下浮动, 但 Q 值的最大误差为 1。

EQH 算法与 Q 算法, BT 算法, BTSA 算法的系统吞吐率进行仿真比较, 如图 4 所示。仿真结果显示, EQH 算法的平均吞吐率达到 90% 以上, 这表明该算法不仅能够在较短时间内估算出较为理想的帧长度, 而且

在标签识别阶段, 能够使系统具有较高的系统吞吐率。

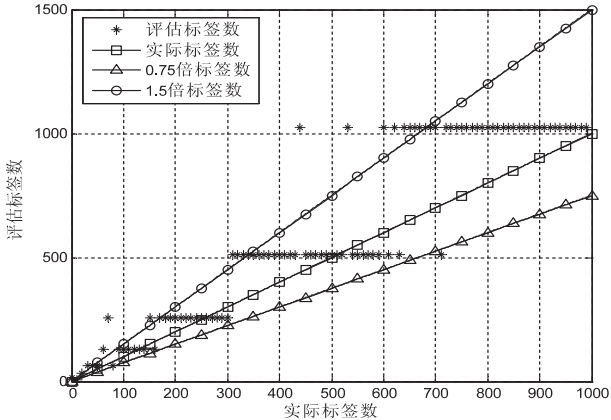


图 3 标签估算

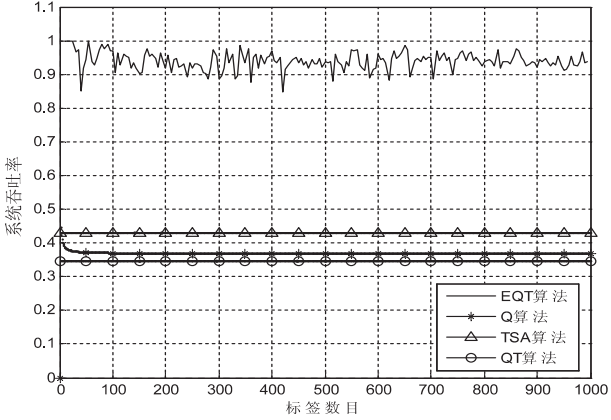


图 4 系统吞吐率比较

4 结束语

文中提出了一种增强型 Q 参数混合防碰撞算法, 其标签估算速度比传统的算法要快, 在标签识别阶段引入特殊的寄存器, 能够快速识别碰撞时隙中的标签, 使系统具有较高的吞吐率, 同时避免了概率型防碰撞

算法存在的“标签饥饿”问题和确定型防撞算法的延时问题,而标签端仅引入一个特殊寄存器,对标签的成本影响几乎可以忽略。

参考文献:

[1] Finkenzeller K. 射频识别 (RFID) 技术[M]. 陈大才,译. 第 3 版. 北京:电子工业出版社,2005.

[2] 赵云青,徐文军,张晓华,等. 射频识别系统中读写器的设计[J]. 计算机技术与发展,2012,22(7):238-241.

[3] 朱 军,张 元,卢小冬,等. 基于分段搜索的多 RFID 标签抗冲突方法[J]. 计算机应用研究,2011,28(3):1031-1033.

[4] Chen Ying, Zhang Fuhong. Study on Anti-collision Q Algorithm for UHF RFID[C]//Proc. of International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC). Hangzhou, China:[s. n.], 2010:168-170.

[5] 谢胜眉,赵军辉. 基于最优化原理的 RFID 系统中的 ALOHA 防撞算法研究[J]. 电路与系统学报,2009,14(4):8-12.

[6] Tao Cheng, Li Jin. Analysis and Simulation of RFID Anti-collision Algorithms[C]//Proc. of the 9th International Conference on Advanced Communication Technology. New York:[s. n.], 2007:697-701.

[7] Hush D R, Wood C. Analysis of Tree Algorithms for RFID Arbitration[C]//Proc. of IEEE International Symposium on Information Theory. Albuquerque, NM:[s. n.], 1998:107-109.

[8] Lai Yuancheng, Lin Chih-Chung. A Blocking RFID Anti-collision Protocol for Quick Tag Identification[C]//Proc. of International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN). Cairo, Egypt:[s. n.], 2009:1-6.

[9] Law C, Lee K, Siu K Y. Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification[C]//Proceedings of the 4th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications. Boston, Massachusetts, USA:[s. n.], 2000:75-84.

[10] Ryu J, Lee H, Seok Y, et al. A Hybrid Query Tree Protocol for Tag Collision Arbitration in RFID Systems[C]//Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc

Networking and Computing. Glasgow, Scotland:[s. n.], 2007:5981-5986.

[11] Choi J H, Lee D W, Lee H J. Bi-Slotted Tree Based Anti-collision Protocols for Fast Tag Identification in RFID Systems[J]. IEEE Communications Letters, 2006, 10(12):861-863.

[12] 张学军,王 娟,王锁萍. 基于标签识别码分组的连续识别防撞算法研究[J]. 电子与信息学报,2011,33(5):1159-1165.

[13] Kim Y H, Kim S S, Ahn K S. A Rapid Tag Identification Method with Two Slots in RFID Systems[C]//Proc. of the 8th IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. Massachusetts, USA:[s. n.], 2009:292-295.

[14] Kim Y H, Kim S S, Lee S J. Improved 4-ary query tree algorithm for anti-collision in RFID system[C]//Proc. of International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Bradford, United Kingdom:[s. n.], 2009:699-704.

[15] Myung J. Adaptive Binary Splitting for Efficient RFID Tag Anti-collision[J]. IEEE Communications Letters, 2006, 10(3):144-146.

[16] Kim S S, Kim Y H, Ahn K. An Enhanced Slotted Binary Tree Algorithm with Intelligent Separation in RFID Systems[C]//Proc. of IEEE Symposium on Computers and Communications. Sousse, Tunisia:[s. n.], 2009:237-242.

[17] Bonuccelli M A, Lonetti F. Tree Slotted Aloha: a New Protocol for Tag Identification in RFID Networks[C]//Proc. of International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Washington DC, USA:[s. n.], 2006:603-608.

[18] Wu Haifeng, Zeng Yu, Feng Jihua, et al. Binary tree slotted ALOHA for passive RFID tag anti-collision[J]. IEEE Parallel and Distributed Systems, 2012, 23(3):1-14.

[19] Cui Yinghua, Zhao Yuping. A Modified Q-parameter Anti-collision Scheme for RFID Systems[C]//Proc. of International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops. St. Petersburg, Russia:[s. n.], 2009:1-4.

(上接第 46 页)

[5] Offutt A J, Xiong Y, Liu S. Criteria for Generating Specification-based Tests[C]//Proc. of 5th IEEE Intl. Conf. on Engineering of Complex Computer System. Las Vegas, Nevada, USA:[s. n.], 1999:119-129.

[6] 占学德. 基于 UML statecharts 测试方法的研究[D]. 上海:上海大学,2005.

[7] Weyuker E J. Axiomatizing Software Test Data Accuracy[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1986, 12(12):1128-1138.

[8] 兰景英,王永恒. 基于 UML 状态图的测试场景生成法[J]. 计算机时代,2008(5):12-14.

[9] Offutt A J, Abdurazik A. Generating tests from UML specifications[C]//Proc. of the Second IEEE Intl. Conf. on the Unified Modeling Language. Fort Collins, CO:IEEE Computer Society Press, 1999:416-429.

[10] 赵 斌. 软件测试技术经典教程[M]. 北京:科学出版社, 2011:48-49.

[11] 张毅坤,施凤鸣,姚全珠,等. 基于 UML 状态图的类测试用例自动生成方法[J]. 计算机工程,2003,29(21):91-93.

[12] 江 曼,王天青,潘金贵. 基于 UML 状态图的面向对象软件测试用例生成[J]. 计算机科学,2006,33(6):284-286.

增强型Q参数混合防碰撞算法

作者:	<u>张学军, 马军飞, 陈彦君, ZHANG Xue-jun, MA Jun-fei, CHEN Yan-jun</u>
作者单位:	<u>张学军, ZHANG Xue-jun(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003; 南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003), 马军飞, 陈彦君, MA Jun-fei, CHEN Yan-jun(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京, 210003)</u>
刊名:	<u>计算机技术与发展</u>
	<div>ISTIC</div>
英文刊名:	<u>Computer Technology and Development</u>
年, 卷(期):	<u>2013(8)</u>

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201308012.aspx