

◎学术探讨◎

射频识别系统中的防碰撞算法研究

姜丽芬^{1,2}, 卢桂章¹, 辛运伟¹JIANG Li-fen^{1,2}, LU Gui-zhang¹, XIN Yun-wei¹

1.南开大学 机器人与信息自动化研究所,天津 300071

2.天津师范大学 计算机与信息工程学院,天津 300074

1.Institute of Robotics and Information Automatic System, Nankai University, Tianjin 300071, China

2.College of Computer and Information Engineering, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China

E-mail: jianglf@robot.nankai.edu.cn

JIANG Li-fen, LU Gui-zhang, XIN Yun-wei. Research on anti-collision algorithm in Radio Frequency Identification system. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(15): 29-32.

Abstract: In the RFID system, the anti-collision algorithm is used to avoid the data collision resulted from the data transaction between more tags and the reader at the same time. Anti-collision technique is a key technique in the RFID system. In this paper, the binary search algorithm and dynamic binary search algorithm is analyzed in detail, and a new anti-collision algorithm is put forward. According to the characteristics of the tags collision, the algorithm applies the obtained collision information and the method of the dormancy count, which improves identification efficiency and reduces the search range. Moreover, the performance analysis shows that the algorithm has more obvious advantages than the binary search algorithm and the dynamic binary search algorithm.

Key words: Radio Frequency Identification (RFID); anti-collision algorithm; binary search algorithm; TDMA

摘要: 在 RFID 系统中,为解决多个标签同时与阅读器交换数据所引起的碰撞问题,必须采用一定的防碰撞算法,标签防碰撞技术是 RFID 系统中的关键技术。详细分析了典型的二进制及动态二进制防碰撞算法原理,并在此基础上提出了一种新的防碰撞算法。该算法根据标签碰撞的特点,充分利用已得到的冲突信息,采用休眠计数的方法,使搜索范围大大缩小,提高了标签的识别效率。性能分析表明,该算法比已有的二进制及动态二进制防碰撞算法具有更明显的优势。

关键词: 射频识别;防碰撞算法;二进制搜索算法;时分多址

文章编号: 1002-8331(2007)15-0029-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP301.6

1 引言

射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)是一种非接触式自动识别技术。它通过无线射频方式对目标加以识别并交换数据。与传统的识别技术相比,RFID 技术无需直接接触即可完成各类物品或设备的自动识别和管理,对普适计算环境尤为适用,广泛应用于物流、供应管理、跟踪、定位等领域。

目前的 RFID 系统有很多工作频段:低频、高频和超高频,其工作原理也不尽相同。一般来讲,在同一个 RFID 系统中所有的射频标签都工作在相同的频率段。因此,如果阅读器的作用范围内有多个标签存在,同一时刻可能有多个标签向阅读器发送信息,这样就会出现互相干扰,使读写器不能正确识别标签,称为标签冲突或碰撞(Collision)^[1,2]。因此,需要一种防碰撞技术来识别多个标签,解决碰撞的算法称为反碰撞算法。ISO/IEC14443A 型标准^[3]推荐的是基于动态二进制搜索机制防碰撞算法。本文在二进制算法及动态二进制搜索算法^[1,2,4]的基础上

提出一种新的算法,以提高 RFID 系统的效率。

2 RFID 系统反碰撞分析

RFID 系统的一个重要特性在于是否可以同时读取多个标签,同时读取多个标签是人们常提到的 RFID 比条形码优越的地方。射频标签内含有可被唯一识别的信息编码,阅读器主要目的就是要正确读取这些信息。一个 RFID 系统如果没有防碰撞算法,它一次就只能读取一个标签。此时,如果有两个以上的标签同时向阅读器发送信息,就会引起读取错误。然而,有防碰撞功能的 RFID 系统,实际上也并不是同时读取所有的标签信息。

传统的解决防碰撞问题基本上有 4 种方法^[1,2,4]:空分多址法(Space Division Multiple Access, SDMA)、频分多址法(Frequency Division Multiple Access, FDMA)、码分多址法(Code Division Multiple Access, CDMA)和时分多址法(Time Division

基金项目:天津市自然科学基金(the Natural Science Foundation of Tianjin of China under Grant No.06YFJMJC00200);天津市高等学校科技发展基金(No.20051518)。

作者简介:姜丽芬(1964-),女,博士生,副教授,主要研究方向:普适计算,嵌入式系统;卢桂章,男,教授,博导;辛运伟,女,博士,教授。

Multiple Access, TDMA)。在 RFID 系统中评价防碰撞算法的性能参数有很多,其中一个主要参数是最小延时,即用于识别所有标签所需要的时间应当尽可能得小。考虑到 RFID 系统通信特性等因素,目前,时分多址(TDMA)算法在射频识别系统防碰撞问题是普遍采用的方法。时分多址法(TDMA)^[1]是把整个可供使用的信道容量按时间分配给多个用户的技术,TDMA 在数字移动系统中得到了广泛的应用。

目前存在的基于 TDMA 的反碰撞算法主要有两种:二进制搜索算法和 ALOHA 算法。ALOHA 算法采用无规则的时分多址,或者叫随机多址。ALOHA 算法操作简便,便于实际应用,但 ALOHA 算法在应用中随着标签数量的扩大,性能将会急剧恶化^[2]。二进制搜索算法的电路实现要比 ALOHA 算法复杂,但算法识别率较高。从应用的角度来看,对于小型 RFID 系统,需要识别的标签数量较少,使用改进的 ALOHA 算法,有利于降低系统成本。然而,随着互联网的发展,RFID 系统规模将不断扩大,而且要求较高的识别率和较快的识别速度。因此,应该不断地改进算法,使之更好地应用于实际。本文主要针对基于 TDMA 的二进制搜索防碰撞算法进行分析和研究,提出改进算法。

3 二进制搜索算法原理

3.1 二进制搜索算法

二进制防碰撞算法采用比特冲突监测协议作为防碰撞方案。二进制搜索算法需要阅读器能够确定碰撞的准确比特位置。因此,必须选用合适的编码。曼彻斯特编码(Manchester)可在多个标签同时响应时按位识别出碰撞位,这样可以根据碰撞的位置,按一定规则重新搜索标签。

假设有两个标签,其标签编码为 8 位,利用 Manchester 编码能按位识别出碰撞位,如图 1 所示。阅读器检测出的冲突位为 D4 位和 D3 位。

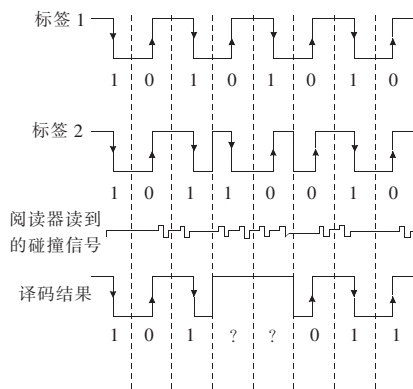


图 1 Manchester 编码按位识别碰撞原理

二进制搜索算法,是以一个独特的序列号识别标签为基础的。二进制搜索算法的基本思路是:在阅读器和标签之间定义一组命令,阅读器发送相应的命令从中选出一个标签,并完成二者之间的数据交换。在识别的过程中阅读器发送请求命令有意识地将标签编码传输时的数据碰撞引导到阅读器上,即通过阅读器判断是否有碰撞发生。其主要命令^[1,2]有:请求命令 REQUEST(SNR)、选择命令 SELECT(SNR)、去活命令 UNSELECT 和读出命令 READ-DATA 等。

(1)请求命令 REQUEST(SNR):此命令发送一序列号(SNR)作参数给标签。应答规则是:标签把自己序列号跟接收的序列

号比较,如果小于或等于,则此标签返回其序列号给阅读器。如果大于,则不响应。

(2)选择命令 SELECT(SNR):用某个事先确定的序列号(SNR)作为参数发给标签。相同序列号的标签将以此作为执行其他命令的切入开关,也就是选中了这个标签。

(3)读命令 READ-DATA:选中的标签将存储的数据发送给阅读器。

(4)去活命令 UNSELECT:取消事先选中的标签,使该标签进入“无声”状态。在该状态下标签对收到的 REQUEST 命令不作应答。为了重新激活标签,需要将标签移出阅读器的作用范围再进入以实行复位。

下面举例说明二进制搜索算法的工作流程。假设在阅读器的作用范围内有 3 个标签,其编码分别为:标签 1:01110010、标签 2:01101010 和标签 3:01110010。当阅读器对作用范围的标签数量不了解时,阅读器首先发送命令 REQUEST(11111111),要求区域内的所有标签应答,阅读器检测到碰撞位为 D4、D3 位。于是阅读器重新发送一个请求 REQUEST(01101111)命令。其规则是:最高碰撞位之前的数据与接收到的数据相同,而最高碰撞位置“0”,碰撞位之后的数据全部置“1”。此时只有标签 2 应答,并将自己的序列号回送给阅读器。于是阅读器发送 SELECT(01101010)选定该标签,并发送 READ-DATA 命令读取数据。最后,阅读器发送 UNSELECT 命令屏蔽掉它,使之处于“无声”状态。接着算法采取后退策略,阅读器将再次发送 REQUEST(11111111),此时标签 1 和标签 3 应答,以此方法进行重复操作即可以完成对所有标签的识别工作。

3.2 动态二进制搜索算法

二进制搜索算法在实现防碰撞的过程中,标签总是以完整的序列号作为应答。而在实际应用中,标签的序列号可能很长,EPC 编码的 3 个版本中的编码长度分别为 64 位、96 位和 256 位^[6]。而 UID(Ubiquitous Identifications)编码长度 128 位,根据需要能够扩展到 256、384 或 512 位。这样一来用于传输的数据量会很大,影响到识别速度。

在二进制搜索算法中,最高冲突位后的所有比特位都被置“1”,因而这部分编码对标签的识别不能提供任何的信息;而标签返回的包括最高冲突位在内的之前比特位阅读器也是已知的。这就是说,传输序列号各自的互补部分是多余。基于此提出了动态二进制搜索算法。

动态二进制搜索^[7]算法识别过程中,当阅读器检测到冲突后,下一次阅读器请求命令只发送要搜索的序列号最高冲突位之前的部分(N-X)作为搜索依据,所有与(N-X)位相同的标签应答并回送其序列号的其余部分。这样,动态二进制搜索算法减少了系统在传输序列号上所消耗的时间,提高了系统的执行效率。动态二进制搜索算法较二进制搜索算法在传输数据量和所需时间上的减少可达 50%^[1]。动态二进制搜索防冲突算法以其简明的思想、稳定的系统性能和较少的系统资源需求在 ISO/IEC14443A 型标准中被推荐为抗冲突算法。

虽然动态二进制搜索算法通过修改二进制搜索算法中的请求命令实现了执行效率方面的优化。但动态二进制搜索算法仍存不足。例如:所有未去活的标签每次都要参与比较自身是否满足请求命令,这显然对前面已得到冲突信息是一种浪费,而且对那些本应排除在请求范围之外的标签也会增加系统内部干扰。二进制搜索算法中阅读器发送的请求命令都直接包含

有标签序列号的信息, 这也会引起 RFID 系统远距离窃听标签信息的安全方面问题。随着 RFID 应用的进一步推广, 客户的个人隐私及数据安全方面的问题也越发突出。正是出于这些问题的考虑, 本文提出一种改进动态二进制搜索算法。

4 一种改进二进制搜索防碰撞算法

为了充分利用已经得到的冲突信息, 本算法设计中采用休眠计数器的方法。将阅读器工作范围内的标签设定了几种状态: 待命态、休眠态和去活态等。其中, 休眠态与对应的休眠程度计数器协同工作完成冲突信息的记录和利用, 大大缩小了搜索范围。

4.1 算法定义

为了便于描述以及实现该算法, 提出如下防碰撞命令:

(1) 请求命令 $\text{Request}(x, m)$: 参数 x 为 1 比特位的二进制数, m 为检测到的冲突最高位。阅读器发送该命令给区域内待命标签。待命标签检测自己的序列号第 m 位与 x 是否相同, 如相同则应答, 并返回冲突位及相关信息; 如果标签序列号的第 m 位与 x 值不同, 则将该标签转为休眠状态, 并将相应的休眠程度计数器置“1”; 对于已经处于休眠状态的标签, 其休眠程度计数器加 1。

(2) 激活命令 Active : 其作用是重新激活处于休眠状态的标签。只有处于休眠状态的标签响应该命令。该命令发出后, 休眠态的标签将其休眠程度寄存器减 1, 如果某个标签的休眠程度计数器减到 0, 该标签转为待命态, 可重新响应 Request 命令; 否则, 标签仍处于休眠状态。

(3) 去活命令 Unselect : 取消事先选中的标签, 使标签进入“无声”状态。在这种状态下标签对收到的 Request 命令不作应答。为了重新激活标签, 必须暂时离开阅读器的作用范围再进入。

其它相关命令如: Select 、 Read-Data 等, 此处略。

4.2 算法工作原理

假设标签的编码为 8 位, 阅读器作用范围内有 5 个标签。分别为:

标签 1: 0101 0101

标签 2: 0101 0111

标签 3: 0111 0101

标签 4: 0110 0110

标签 5: 0101 0100

开始, 阅读器对进入区域内的标签未知, 阅读器发送请求命令 $\text{Request}(\text{NULL}, 8)$, 区域内所有的标签应答, 识别过程如图 2 所示。

其具体执行过程如下:

第 1 次 阅读器发送 $\text{Request}(\text{NULL}, 8)$ 命令, 阅读器作用范围内的所有待命标签应答, 根据 Manchester 编码原理, 解码得到的 UID 数据为 01XX01XX。碰撞位为 D5、D4、D1、D0。 m 取 5 (最高碰撞位的下标), 得到下一次 Request 命令所需的参数。

第 2 次 阅读器发送 $\text{Request}(0, 5)$ 命令, 所有待命的第 5 位为 0 的标签响应, 这里是标签 1、2、5 响应。解码得到的编码数据为 010101XX。阅读器检测到冲突位为 D1、D0, 最高冲突位为 D1, 因此, m 取 1, 得到下次 Request 命令所需参数。同时, 将标签第 5 位为 1 的标签转为休眠态, 这里是标签 3、4, 并将其各自的休眠程度计数器置“1”, 标签 1、2、5 仍为待命态。

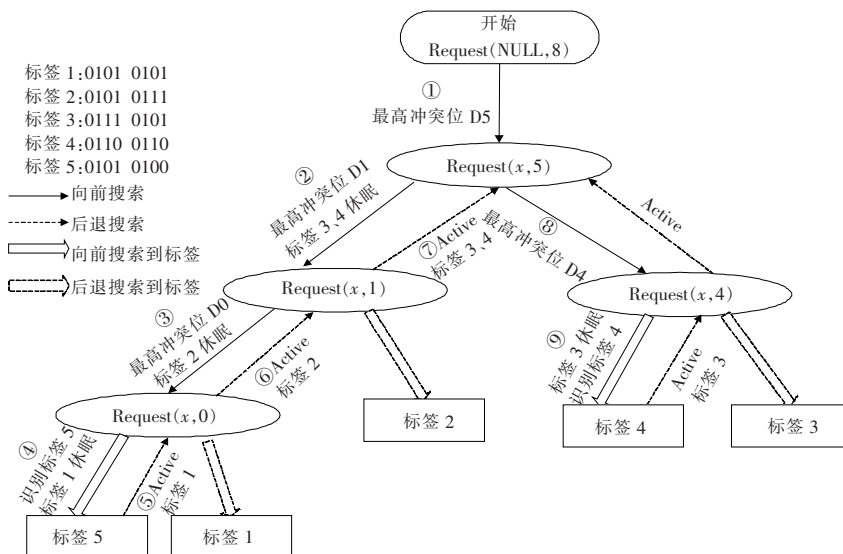
第 3 次 阅读器发送 $\text{Request}(0, 1)$ 命令; 第 1 位为 0 的待命态标签应答, 这里是标签 1、5 应答。阅读器检测到冲突位为 D0, m 取 0, 得到下一次 Request 命令所需的参数。同时, 第 1 位为 1 标签转为休眠态, 这里是标签 2, 其休眠程度寄存器置“1”; 并将处于休眠态标签 3、4 的休眠程度计数器各自加 1。

第 4 次 阅读器发送 $\text{Request}(0, 0)$ 命令; D0=0 的待命态标签 (标签 5) 应答, 由于没有碰撞发生, 正确识别。阅读器可以对其进行相应的操作 (如 select 、 read-data 等), 处理完后, 执行 Unselect 命令, 屏蔽掉它, 使之处于“无声”状态。

第 5 次 正确识别一个标签后, 阅读器发送激活命令 Active 命令, 使各休眠标签将其各自的休眠程度寄存器减 1。此时, 标签 1 的休眠程度寄存器归 0, 转为待命态。算法再采用回跳策略开始执行。

回跳时阅读器发送的请求命令中, 第一个参数取 1 (下行时, Request 命令的第一个参数取 0)。

第 6 次 阅读器发送 $\text{Request}(1, 0)$ 命令; 标签第 0 位为 1 的待命态标签应答, 这里是标签 1, 由于没有冲突, 正确识别。同理, 阅读器可以对其进行相应的操作, 再执行 Unselect 命令, 屏蔽掉它。依此类推, 阅读器再发送激活命令 Active , 各休眠标



签将其各自的休眠程度寄存器减1。此时,标签2的休眠程度寄存器归0,转为待命态。算法再采用回跳策略开始执行。

第7次 阅读器发送 Request(1,1)命令;第1位为1的待命态标签应答,只有标签2应答,因而正确识别。同理,完成相应的工作后,阅读器发送激活命令 Active,标签3、4转为激活态。再采用回跳策略。

第8次 阅读器发 Request(1,5)命令,第5位为1的待命态标签应答,这里是标签3、标签4。检测到冲突位为 D4、D1、D0。取 $m=4$, (下行)得到下一次 Request 命令所需参数。

第9次 阅读器发 Request(0,4)命令(下行),第4位为1的待命态标签休眠,这里是标签3,置其休眠程度计数器为1。第4位为0的标签应答,这里是标签4,没有碰撞发生,正确识别。阅读器对其进行相应的处理后,执行 Unselect 命令,屏蔽掉它。之后回跳,发 Active 命令,标签3被激活。回跳,阅读器发 Request(1,4)命令,标签3响应,无冲突,正确识别。

5 算法分析

如图2所示,该反碰撞算法可用二进制树结构来表示。从图2的例子中可以看到,为了识别5个标签,根节点下面有4个子节点。父子节点之间双向搜索,因此,总的搜索次数为: $S(5)=(5-1)*2+1=9$ 。

结论 该基于二进制的反碰撞算法中,阅读器识别 m 个标签所需搜索次数为: $S(m)=(m-1)*2+1=2m-1$ 。

下面用数学归纳法来证明此结论。

证明

(1) $m=1$ 时,搜索次数显然为: $S(1)=1$ 。 $m=2$ 时,对任意两个标签,如标签甲和标签乙。由于标签编码的唯一性,两个标签一定具有不完全相同的二进制位。因此,当阅读器发送 Request(NULL,8)命令时,至少可以检测出一个冲突位。假设阅读器检测到的最高冲突位为 D_i (其中, $i \in \{0, 1, \dots, N-1\}$), 假设标签编码的长度为 N , 根据算法约定, 下一次阅读器将发送请求命令 Request(0, i)。由于只有两个标签, 必然只有唯一一个标签应答, 假设标签甲应答, 因此, 正确识别出标签甲。根据算法约定, 再采用回跳策略开始执行, 可正确识别标签乙。所以, $S(2)=3$ 。结论成立。

(2)假设 $m=k-1$ 个标签时, 搜索次数 $S(k-1)=2(k-1)-1=2k-3$ 成立。

当有 k 个标签时, 根据标签编码的唯一性, 增加一个标签和原有的 $k-1$ 个标签的编码一定不同。为了将它与其他标签区分开来, 必须在原有二进制搜索树中增加一个节点, 由于节点间仅存在父子关系, 且双向搜索, 因此, $S(k)=S(k-1)+2=2k-1$, 结论成立。

对于二进制搜索算法及动态二进制算法, 根据算法的特点, 需要循环遍历搜索。因此, 识别 m 个标签需要搜索的次数都为:

$$m+(m-1)+\dots+1=\frac{m(m+1)}{2}$$

假设标签的编码的长度为 N 。在二进制搜索算法中, 请求命令中每次发送标签编码的序列号。因此, 其发送的二进制编码长度为 $L=N$; 动态二进制算法每次发出的平均二进制编码的长度 $L=(1+N)/2^{\log_2 N}$; 而本算法中, 发送请求命令的第2个参数是最高碰撞位, 它只与 N 有关, 即 $L=\log_2 N$, 因此, 本算法每次请求命令发送的二进制编码长度 $L=\log_2 N+1$ 。据此, 可以得出二进制搜索算法、动态二进制搜索算法和本算法在完成所有 m 个标签搜索的请求命令中, 传输二进制数据长度的总和分别为:

$$\text{二进制搜索算法: } L_1 = \frac{m(m+1)}{2} \times N$$

$$\text{动态二进制搜索算法: } L_2 = \frac{m(m+1)}{2} \times \frac{N+1}{2}$$

$$\text{本文算法: } L_3 = (2m-1) \times (\log_2^N)$$

以64位长度编码为例, 三种算法的复杂度比较结果见表1。

表1 编码长度 N 为64位时抗碰撞算法识别速度改善情况

标签数 m	10	20	30	40	50	60
L_1	3 520	13 440	29 760	52 480	81 600	117 120
L_2	788	6 825	15 113	26 650	41 438	59 475
L_3	133	273	413	553	693	833
本文算法比动态二进制算法	0.831 2	0.960 0	0.972 7	0.980 0	0.983 3	0.986 0
节省信道率						

基于二进制的搜索算法中, 传输信息的长度意味着防碰撞命令的传输时间, 降低传输数据的长度可以提高系统的识别时间。上述算法分析结果表明, 随着 m 、 N 的增加, 采用本文算法的优越性将越明显。(收稿日期: 2006年12月)

参考文献:

- [1] Finkenzeller K. 射频识别(RFID)技术—无线电感应的标签和非接触IC卡的原理与应用[M]. 陈大才, 译. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [2] Finkenzeller K. RFID—HANDBOOK, fundamentals and applications in contactless smart cards identification[M]. 2nd ed. [S.l.]: Wiley & Sons LTD, 2003.
- [3] ISO/IEC 14443-3 identification cards contactless integrated circuit (s) cards—proximity cards Part3: Initialization and anticollision[S], 2003.
- [4] 王爱英. 智能卡技术—IC卡[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [5] Kalinowski R, Latteux M, Simpwt D. An adaptive anti-collision protocol for smart labels, 2001.
- [6] Marrocco G, Fonte A, Bardati F. Evolutionary design of miniaturized meander-line antennas for RFID applications[J]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002, 1(2): 362-365.
- [7] 余松森. 基于后退索引的二进制树形搜索反碰撞算法及其实现[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(16): 26-28.
- [8] 鞠伟成, 俞承芳. 一种基于动态二进制的RFID抗冲突算法[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2005, 44: 46-50.