

帧时隙 ALOHA 的快速防冲突算法

阙大顺, 汪盛虎, 张 浩

QUE Da-shun, WANG Sheng-hu, ZHANG Hao

武汉理工大学 信息工程学院, 武汉 430063

School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China

E-mail: dsque@sina.com

QUE Da-shun, WANG Sheng-hu, ZHANG Hao. Fast anti-collision algorithm based on framed slotted Aloha. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(35): 49-51.

Abstract: Tags anti-collision algorithm is the key to the efficiency of radio frequency identification system. At present the main improvement on framed slotted Aloha algorithm is to adjust the frame size in the process of identification, but there are such disadvantages as inaccurate calculating frame size, complex algorithm and long identification time. This paper proposes a new anti-collision algorithm that divides the identification period into two steps, which are collision detection and data reading. It makes full use of collision information of the tag detection to increase the efficiency of data reading, reduce the identification time and improve the identification rate. Theoretical analysis and simulations show that the algorithm can identify the tags more efficiently and rapidly, especially in the case of multi-target recognition.

Key words: radio frequency identification; anti-collision algorithm; Aloha algorithm; frame slotted

摘 要: 标签防冲突算法是影响 RFID 系统效率的关键。目前基于帧时隙 Aloha 算法的改进算法主要是调整识别过程中的帧长, 但都存在着帧长计算不准确、算法复杂和识别时间长的缺点。提出了一种新的防冲突算法, 该算法将一个识别周期分为标签检测和数据读取两个步骤, 充分利用标签检测的冲突信息, 提高数据读取的效率, 减少了识别的时间, 提高了识别率。理论分析和仿真结果均表明, 该算法可以更加高效快速地识别标签, 特别适用于标签数目较多的场合。

关键词: 射频识别 (RFID); 防冲突算法; Aloha 算法; 帧时隙

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.35.016 文章编号: 1002-8331(2009)35-0049-03 文献标识码: A 中图分类号: TP301.6

1 引言

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术是一种非接触式自动识别技术, 利用无线电波对记录媒体进行无接触读写。因其具有识别距离远、穿透能力强、抗污染等优点, 现已广泛用于工业自动化、交通运输管理、产品证件防伪、防盗等众多领域, 成为一门逐渐走向成熟的跨学科的热点技术之一。

RFID 系统一般由标签和读写器两个部分组成, 当有多个标签进入读写器的作用范围时, 所有标签都被读写器发送的命令激活, 它们将向读写器发送自己存储的信息, 这就导致各标签之间传输的信号产生相互干扰, 即发生冲突。目前解决 RFID 标签阅读冲突问题主要是基于两种防冲突算法^[1-2]: Aloha 算法和二叉树搜索算法。其中 Aloha 算法属于时分复用方法的一种, 该算法被广泛应用在 RFID 系统中, 但该算法存在着系统吞吐量低, 在大量数据交换时系统性能急剧下降的缺点。

目前在基于帧时隙 Aloha 防冲突算法的改进算法中, 动态

帧时隙 Aloha 算法^[3-4] (Dynamic Framed Slotted ALOHA, DFSA) 根据帧中的空闲和碰撞情况动态调整帧长提高识别效率, 由于该算法有较好的识别率和稳定性, 成为目前应用最为广泛的算法之一, 但由于帧长不能大于 256, 难以解决标签过多时的碰撞问题; 增强型动态帧时隙 Aloha 算法^[5] (Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA, EDFSA) 通过分组限制每帧中的响应标签数, 能较好地解决 DFSA 在标签过多时识别效率较低的问题。但这两种防冲突算法存在着帧长调整方法模糊或不准确, 计算量大, 识别时间较长的缺点。

基于帧时隙 Aloha 算法提出了一种快速防冲突算法, 核心思想是将标签识别分为两个步骤, 即冲突检测和数据读取; 其中冲突检测的目的是检测一个识别周期中标签发生冲突的情况, 数据读取是根据冲突检测的情况, 允许无冲突的标签和阅读器进行通信。理论分析和仿真实验表明该算法减少了阅读器与标签进行通信的次数, 降低了系统的功耗, 加快了识别的过程, 比帧时隙 Aloha 算法, 动态帧时隙 Aloha 算法, 增强型动态帧时隙 Aloha 算法具有更高的识别率。

基金项目: 湖北省科技攻关计划 (the Key Technologies R&D Program of Hubei Province, China under Grant No.2007AA101C52)。

作者简介: 阙大顺 (1963-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向: 现代信息传输与处理, 网络信息安全; 汪盛虎 (1982-), 男, 硕士生, 主要研究方向: 信息采集与智能信号处理, 射频识别; 张浩 (1980-), 男, 硕士生, 主要研究方向: 信息传输与处理。

收稿日期: 2008-07-08

修回日期: 2008-10-23

2 帧时隙 Aloha 防冲突算法概述

帧时隙 Aloha 算法是一种随机时分多址方式的 RFID 用户信息通讯收发算法^[4],根据冲突问题本身的数学特性采取的一种 RFID 的防冲突方法,通过在规定的时隙传输数据来改善系统读取效率。它将信道用信息帧表示,把信息帧分成许多时隙,每个标签随机选一个时隙来发送自己的识别码信息。在每帧开始,读写器向标签发送请求,标签收到请求后随机选择该帧中的一个时隙并响应。在标签数较少时,该算法可以表现出较好的性能。但当标签数增大时系统性能将急剧恶化,同时固定的帧长也会导致系统十分不稳定,系统的吞吐率仿真如图 1 所示。

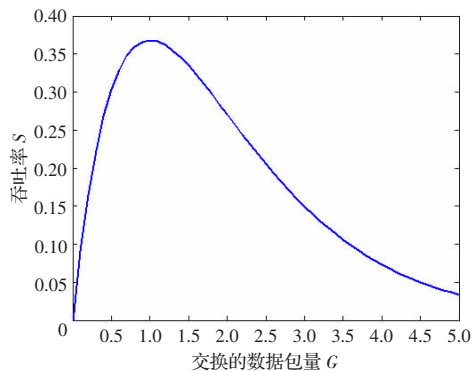


图 1 帧时隙 Aloha 算法的系统效率

从图 1 可以得出,交换的数据包量在 $G=1$ 时,最大吞吐率为 36.8%,但如果标签数增加时,平均交换的数据包量 G 增加,那么吞吐率会呈指数下降。为确保正确识别标签,所需要的时隙数会增加,即识别时间延长,降低了防碰撞算法的性能,影响了系统识别效率。帧时隙 Aloha 算法的帧大小固定,因此它的运用简单易行,但它鉴别标签的效率不高,假设有相当多的标签,在所有的时隙都发生了碰撞,那么即使识别过程无限循环,阅读器最终不能鉴别一个标签。在帧时隙 Aloha 的改进算法中,DFSA 和 EDFSA 的系统识别率可达到 36.8%,但不是最为理想的算法。

3 快速检测读取防冲突算法

基于帧时隙 Aloha 防冲突算法,提出了一种改进算法——快速检测读取 Aloha 算法(Fast Detection and Reading Aloha, FDRA),算法流程图如图 2 所示。该算法在冲突检测阶段用一个短时帧检测响应标签的冲突情况。依据第一步的检测结果,数据读取阶段将处在无冲突时隙的标签的序列号发送给阅读器,阅读器识别这些标签,按照规定的次序与它们进行数据交换。第一次识别周期结束后,根据标签反馈回来的信号判断是否还有标签未被读取,未被读取的标签在下一个识别周期继续争用开始命令,直到被识别。

3.1 数据的 Manchester 编码

每个标签所携带的信息采用 Manchester 编码。Manchester 编码的每一位的中间有一跳变,位中间的跳变既作时钟信号,又作数据信号。从高到低跳变表示“1”,从低到高跳变表示“0”。在数据传输过程“没有变化”的状态是不允许,系统则将其标志为传输碰撞位。如果两个或多个标签同时发出数据的数据位有不同值,则阅读器接收数据的一个位窗的上升边缘和下降边缘相互抵消,以致在这个位窗持续的时间内接收器收到的是不变化的信号,从而可以按位跟踪碰撞位。提出的 FDRA 算法机理如图 3 所示。

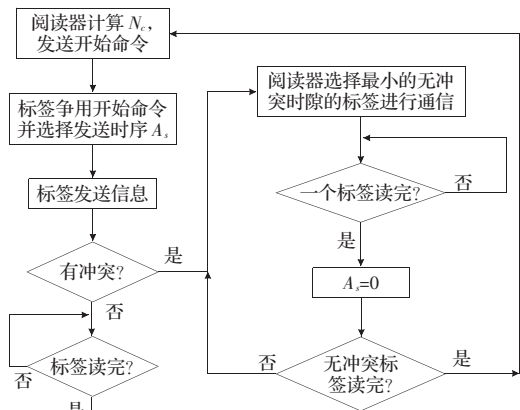


图 2 FDRA 算法流程图

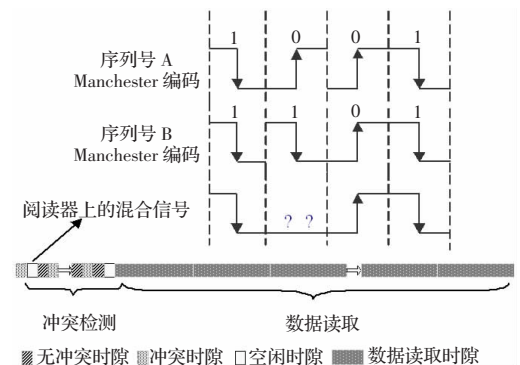


图 3 FDRA 算法机理

3.2 冲突检测

在冲突检测阶段,采用最短检测帧检测每个时隙是否发生冲突,一个序列号用一个短时帧检测,冲突检测的步骤如下:

- (1)阅读器发送信道争用开始指令,激活其作用范围内的所有标签。设冲突检测时隙数为 N_c 。
- (2)标签接收信道争用开始指令,进行时钟同步,同步进入信道争用周期。随机选择一个整数 $A_i (0 \leq A_i \leq N_c)$ 作为自己在整个发送周期中的发送顺序,将 A_i 保存在标签寄存器中。
- (3)进入数据传送周期,所有标签按照已确定的发送顺序和发送位,在短时帧内发送各自的数据。
- (4)阅读器在相应的时隙接收所有标签发送的信号,并检测所有时隙的情况。

每个时隙有三种可能情况:无冲突时隙,在该时隙只有一个标签响应阅读器发出的查询命令;冲突时隙,在这个时隙有两个或两个以上的标签响应阅读器发出的查询命令;空闲时隙,在该时隙没有标签响应阅读器发出的查询命令。检测阶段结束后,只有在无冲突时隙发送数据的标签才能进入数据读取阶段。在下一个识别周期, N_c 根据冲突检测的情况重新计算,这可提高信道的利用率。

3.3 数据读取

依据冲突检测的情况,在无冲突时隙发送数据的标签将在这个阶段逐个和阅读器通信,读取数据的步骤如下:

- (1)阅读器搜索序号最小的处在无冲突时隙的标签,发送命令与其通信。
- (2)通信完毕,标签将其 A_i 减为 0,使标签处在休眠状态。
- (3)阅读器继续搜索序号最小的处在无冲突时隙的标签,

直到搜索不到目标。

数据读取阶段是一个完全无冲突的通信过程, 在碰撞时限内的标签将不会与阅读器通信, 减少了数据传输量, 提高了数据传输效率。

3.4 算法分析

假设阅读器周围有 N_i 个标签, 冲突检测的时隙个数为 N_c , 则在一个时隙中有 q 个标签的概率服从二项分布^[6]:

$$P_q = \binom{N_i}{q} \left(\frac{1}{N_c}\right)^q \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_i - q} \quad (1)$$

当只有一个标签在一个时隙中时, 没有冲突的概率为 P_1 。因此无冲突时隙的个数 $N_{correct}$ 可用以下式子计算:

$$N_{correct} = N_c \times P_1 = N_c \cdot N_i \left(\frac{1}{N_c}\right) \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_i - 1} \quad (2)$$

系统效率 E 为:

$$E = \frac{\text{正确读取数据的时间}}{\text{总时间}} = \frac{T_r \times N_{correct}}{T_r \times N_{correct} + T_c \times N_c}$$

其中 T_r 是每个读取数据时隙长度, T_c 是每个冲突检测时隙的长度, 从式(1)和式(2)可得出:

$$E = \frac{\left(\frac{T_r}{T_c N_c}\right) N_i \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_i - 1}}{1 + \left(\frac{T_r}{T_c N_c}\right) N_i \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_i - 1}} \quad (3)$$

若定义 $\alpha = \left(\frac{T_r}{T_c N_c}\right) N_i \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_i - 1}$, $\beta = T_r / T_c$, α 随着 β 的增大而增大, 亦即当读取数据时隙一定时, 冲突检测帧越小, 系统效率越大, 当 α 最大时, 此时 E 也为最大。

对 α 求导, 可分析得出系统效率达到最大的标签数量, 此时

$$\frac{\partial \alpha}{\partial N_i} = \frac{\beta}{N_c} \left(1 - \frac{1}{N_c}\right)^{N_i - 1} \left(1 + N_i \ln\left(1 - \frac{1}{N_c}\right)\right) = 0$$

由此可得, 当标签数量为 N_i 时, 最优化的帧大小为

$$N_c = \frac{e}{\frac{1}{N_i} - 1} \quad (4)$$

从以上分析可知, 系统效率与 N_c 和冲突检测帧的长度有直接的关系。通过 Matlab 仿真, 可得不同 N_i 和 β 的系统效率图如图 4 所示。

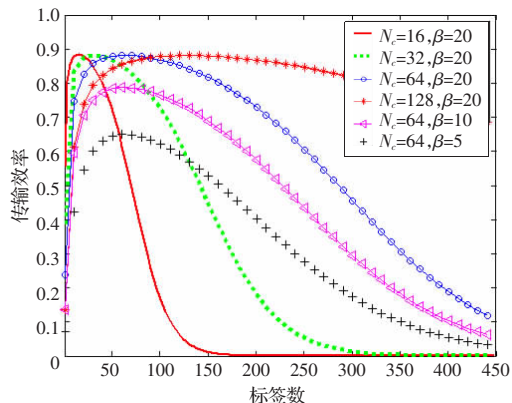


图 4 系统效率图

从图 4 可知, 冲突检测帧长越接近标签数, 系统的吞吐量越高, 系统效率与 N_c 和短时帧的长度有关, 与理论的推导式(3)

的结论是相符的。根据式(4)可以得到最佳的 N_c , 使得系统效率最大。

4 算法性能比较

在 Matlab 环境下仿真, 记录读取标签数从 0 到 1 000 递增变化时系统所需要的时隙数, 比较帧时隙算法, 动态帧时隙 Aloha 算法, 增强型动态帧时隙 Aloha 算法和 FDRA 算法所需时隙数, 如图 5 所示。

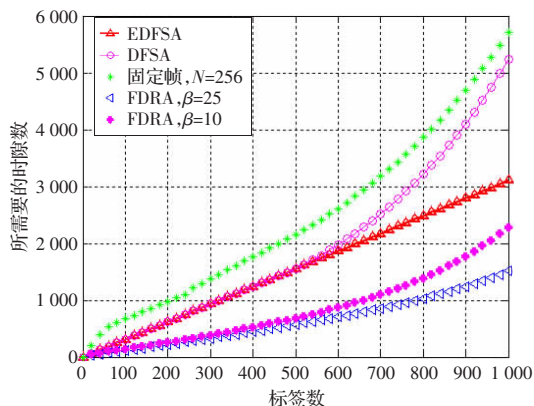


图 5 算法比较仿真结果

帧时隙算法采用帧大小固定, 在整个标签识别过程中不改变帧的大小, 阅读器把帧大小和在帧中用来选择时隙的随机数发送给标签, 每个标签通过利用这些随机号码来选择时隙号码, 这样与阅读器建立通信。仿真时取初始帧长为 256, 由于它不能动态调整帧长, 当标签较多时, 其吞吐量呈指数下降, 需要的时隙数呈指数上升; 动态帧时隙 Aloha 算法根据标签数量来动态调整帧大小, 能有效地识别标签。但当有较大数量的标签时, 由于阅读器不能无限增加帧大小, 这样阅读器不能有效降低发生碰撞的概率。仿真显示标签数小于 512 时性能表现良好, 当标签数远远超过 512 时, 识别标签所需时隙数随标签增加呈指数增长; 增强型帧时隙 Aloha 算法在调整帧长时, 通过对预测的未读标签数分簇, 仅允许一个分簇来响应阅读器, 这种方式对响应标签进行限制, 该算法读标签所需时隙数线性增长; FDRA 算法识别标签所需时隙与冲突检测帧长和数据读取帧长有关, 数据读取帧长与冲突检测帧长比值越大, 系统需要的时隙数越少。从图 5 可知, 在相同标签的情况下, FDRA 算法所需要的时隙数最少, 因为 FRDA 充分利用了检测时隙的结果, 有效避免传输过程中的冲突, 因而能快速高效地识别标签。

5 结束语

分析了 RFID 系统防碰撞算法中常用的帧时隙 Aloha 算法, 根据标签识别的特点, 提出帧时隙 Aloha 防冲突算法的一种改进算法——FDRA。该算法与 DFSA 和 EDFSA 算法的思想不同, 核心也不是调整帧长, 而是将识别过程具体化, 充分利用冲突检测阶段的结果, 将时隙的状态分为三种情况, 每一个标签的状态用其中一种情况来表示。将数据读取的过程有序化, 减少数据传输的错误率, 提高识别过程的效率。仿真结果显示该算法具有较高的传输效率, 能够提高 RFID 系统的防冲突能力, 适用于识别标签较多的情况。提出的算法最高识别率是在标签数已知的情况下得到的, 而实际运用时标签数未知, 这些问题要在今后的研究中进一步完善。