

文章编号: 2095-4980(2013)04-0601-05

RFID 系统多标签识别防碰撞算法

王 萌, 陈殿仁

(长春理工大学 电子信息工程学院, 吉林 长春 130022)

摘 要: 进行了全面的基于动态帧时隙 ALOHA(DFSA)的无源 RFID 系统多标签识别防碰撞算法研究, 并将其中的标签数目估计技术进行序贯加权处理, 通过仿真比较了改进前后 DFSA 算法的性能, 并确定了最佳遗忘因子。仿真结果表明, 该改进措施缩短了 RFID 识别标签所需时间, 提高了系统的工作效率, 可有效地应用于港口码头、车站或物流中心的集装箱管理或物流配送管理, 以改善由于 RFID 系统多标签碰撞而导致的货物流通缓慢或拥堵问题。

关键词: 防碰撞; 动态帧时隙 ALOHA 算法; 标签估计; 序贯加权

中图分类号: TN925

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201304.0601

Anti-collision multi-tag identification algorithms for RFID systems

WANG Meng, CHEN Dian-ren

(School of Electronics and Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin 130022, China)

Abstract: A comprehensive study of the Dynamic Framed Slotted ALOHA(DFSA)-based anti-collision multi-tag identification algorithms for passive Radio Frequency Identification(RFID) system is performed, and the tag estimation techniques are sequential weighted. Performance of DFSA algorithms before and after the improvements is compared through extensive simulation and the optimal forgetting factor is determined. The improvements can shorten the time required for identifying tags to improve the work efficiency of the RFID system. It can be effectively applied to container management, logistics management of ports, railway stations or logistics center, and solve the problems of slow goods flow or congestion caused by the multi-tag collision in RFID systems.

Key words: anti-collision; Dynamic Frame Slotted ALOHA algorithm; tag estimation; sequential weighted

射频识别(RFID)技术, 又被称为电子标签或无线标签, 是一种利用无线通信实现的非接触式自动识别技术。随着 RFID 技术的日益成熟, 它被广泛应用于工业自动化、商业自动化、交通运输控制管理和防伪等众多领域。

在港口码头、车站或物流中心的室外或室内大型货场, 由于场地较大且物资种类繁多, 传统的人工操作会耗费大量的人力和时间, 而且容易出现差错。在货场的出口处安装 RFID 阅读器, 用来识别即将运出的货物是否正确合法, 从而给出放行或关闭通道等命令, 因此, RFID 系统也能起到防盗监控的作用^[1]。但是 RFID 系统在实际应用中, 经常会遇到多读写器、多标签的情况, 造成标签之间或读写器之间相互干扰而不能正常识别标签, 这种干扰被称为碰撞或者冲突。这种现象大大增加了系统的工作时间, 影响了工作效率。为保证 RFID 系统能够正常工作, 应尽量避免这种碰撞。避免碰撞的方法或操作过程被称为防碰撞算法(Anti-Collision Algorithm)^[2]。

1 DFSA 防碰撞算法

为解决标签防碰撞问题, 各国学者做了大量有意义的研究工作。近年来开发的动态帧时隙 ALOHA(DFSA)算法^[3], 是基于 ALOHA 协议的防碰撞算法中较好的一种。DFSA 算法根据识别标签的时隙数目和产生碰撞的时隙数目等信息来确定帧长, 每个读周期后, 帧长随该读周期所估计的标签数目而进行动态变化。当待识别标签数大于时隙数而造成过多碰撞时会增加帧长; 反之, 当无回应时隙过多时则减小帧长。只有时隙数与标签数相当才能达

到最佳吞吐率。每个读取周期中,读写器都要对标签总数进行估计,并调整帧长以保证系统能以最大效率进行工作。标签和阅读器只需分别有传输和接收设备即可,无需其他硬件开销,应用成本非常低。

基于 DFSA 的多标签识别防碰撞算法基本步骤如下:

- 1) 读写器发送一个触发命令,使所有的标签响应;
- 2) 计算每个读周期中无回应时隙数 C_0 ,成功传输时隙数 C_1 和碰撞时隙数 C_K 的值;
- 3) 使用标签估计技术,根据 C_0 , C_1 和 C_K 值估计标签数量;
- 4) 在标签估计的基础上,估计每个读周期的帧长;
- 5) 重复以上 4 个步骤,直到所有的标签被识别或达到所需的保证水平。

开始时读写器并不知道当前系统中的标签数目。设定初始帧长后,读写器发送一个触发信号,令所有的标签发送它们的信息。在每个读周期中,标签随机选择时隙发送自己的信息,由于标签随机选择传输时隙,就存在着碰撞的可能性。一个读周期结束后,读写器对 C_0 , C_1 和 C_K 的值有所了解。 C_0 指的是未被标签选择用来发送数据的时隙数, C_1 是指标签成功将数据传输给读写器的时隙数,因此在一个读周期中,识别成功的标签数量等于成功传输的时隙数。 C_K 是指发生碰撞的时隙数,这些时隙中标签传输的数据没有被读写器识别,它们的信息由于碰撞而丢失。因此,读写器通过 C_0 , C_1 和 C_K 值所提供的信息,使用不同的估计技术估计系统中存在的标签数量,这将在本文后面的部分讨论。在当前读周期估计出的标签数目的基础上,设置下一个读周期的帧长。整个过程将持续到系统中的所有标签被识别或直至达到所需的保证水平。

2 DFSA 算法中的标签估计技术及改进

每个读周期中标签数量的估计是在 C_0 , C_1 和 C_K 的基础上进行的,主要的标签估计技术有最小值估计技术、泊松估计技术和切比雪夫不等式估计技术。其中以泊松估计技术^[4]和切比雪夫不等式估计技术较为常用。

2.1 泊松估计技术

泊松标签估计函数是基于 m 个标签选择同一特定时隙 i 的后验概率提出的:

$$p_m^0(i) = \begin{cases} 0 & \text{if } m = 0, 1 \\ p_m(i) / [1 - p_0(i) - p_1(i)] & \text{if } m \geq 2 \end{cases} \quad (1)$$

相撞时隙的后验期望值为 $m=2.39$ 。这表明,当发生碰撞时,每个碰撞时隙中有平均 2.39 个标签在响应。因此系统中的标签数目估计为:

$$N_{\text{泊松}} = C_1 + 2.39C_K \quad (2)$$

式中: $N_{\text{泊松}}$ 为使用泊松估计方法得到的每个读周期中的标签数目; C_1 为成功传输的时隙数; C_K 为发生碰撞的时隙数。很显然这种算法的优点在于使系统有最大的吞吐量,简单且成本较低。但是此种算法在数据量不够大的情况下,误差较大。

2.2 切比雪夫不等式标签估计技术

这种方法是由文献[5]和[6]提出的,它以切比雪夫不等式原则为基础。根据切比雪夫不等式,任意随机变量 m 的随机试验结果都接近其期望值。读取的试验结果(C_0 , C_1 和 C_K)与期望向量($E(e)$, $E(s)$, $E(c)$)之间的距离最小的标签数目 n ,即为标签数目的切比雪夫估计值。

$$\varepsilon(n, C_0, C_1, C_K) = \min_n \left\| \begin{pmatrix} E(e) \\ E(s) \\ E(c) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_K \end{pmatrix} \right\| \quad (3)$$

式中: $E(e)$ 为无回应时隙数的期望值; $E(s)$ 为成功传输时隙数的期望值; $E(c)$ 为发生碰撞时隙数的期望值。

假设有 n 个标签等待阅读器读取,初始帧长度为 N ,则 $R \sim B(n, 1/N)$,即选择同一个时隙的标签数目随机变量 R 服从总数为 n 、概率为 $1/N$ 的二项分布。 R 发生的概率可由下式表示

$$P(r) = \frac{n!}{(n-r)!r!} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (4)$$

无回应时隙数的期望值为:

$$E(e) = NP(0) = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (5)$$

成功传输时隙数的期望值为:

$$E(s) = NP(1) = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (6)$$

发生碰撞时隙数的期望值为:

$$E(c) = NP(K) = N - E(0) - E(1) \quad (7)$$

实际应用当中,切比雪夫不等式估计技术无论是估计误差,还是消耗时隙总数都是较理想的。如果考虑到阅读器中实现的简单快捷,而且对误差要求不是很高的情况下可以采用泊松估计算法。

2.3 序贯加权标签估计技术

由于上述2种标签估计算法中的标签时隙服从随机分布,每个读周期标签数目的估计存在着很多波动的可能。为了减少波动,达到每个读周期标签数目估计的一致性,使用数学中的序贯加权最小二乘法^[7],在这里引入遗忘因子(λ)的概念,对标签数量进行连续加权估计。加权算法允许根据需要对各量测量加不同的权。递推算法在取得新数据后不用按全部数据重新计算,而只需在原估计量的基础上,用新数据带来的信息对原估计作修正便得到新的估计量^[8]。遗忘因子是为了消除数据饱和现象,加强当前数据影响,减小历史数据影响而引入的。遗忘因子 λ 的值介于0和1之间。较低的 λ 值提供给当前读周期数据更多的权重,从前读周期数据的影响将被忽略,使估计函数对现在读周期数据更敏感;较大的 λ 值忽略了目前的读周期的数据,并使估计的函数对从前读周期数据的影响变得更加敏感。因此遗忘因子准确值的选择在标签估计函数中起着至关重要的作用。使用遗忘因子改进的泊松估计和切比雪夫不等式的标签估计技术讨论如下:

1) 加权泊松标签估计技术

不考虑遗忘因子概念时,任意读周期 i 中的泊松标签估计函数为式(2)。遗忘因子的概念相当于通过从前读周期所估计的标签数目计算出当前读周期标签估计数目。使用遗忘因子参考从前读周期 i 的标签估计数目,得到读周期 $i+1$ 的标签估计数目为:

$$N_{i+1} = [(1-\lambda) \times (C_1 + 2.39C_K)] + \lambda \times N_i \quad (8)$$

式中: λ 为遗忘因子; N_{i+1} 为当前读周期中的标签估计数目; N_i 是从前读周期中的标签估计数目。

2) 加权切比雪夫不等式标签估计技术

不考虑遗忘因子概念时,任意读周期 i 中的切比雪夫不等式标签估计数量由式(3)给出。带有遗忘因子时读周期 $i+1$ 中的标签估计数目为:

$$N_{i+1} = \left[(1-\lambda) \times \left(\min_r \left[\begin{pmatrix} E(e) \\ E(s) \\ E(c) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_K \end{pmatrix} \right] \right) \right] + \lambda \times N_i \quad (9)$$

3 仿真结果分析及遗忘因子的确定

3.1 几种标签估计方法的性能比较

从识别系统中,所有标签所需要的时隙总数方面来研究基于DFSA的多标签识别防碰撞算法的性能。对于给定的时隙长度,总时隙数代表系统识别标签所花费的时间总量。每一次分析中,性能统计数据都是由6000次模拟平均确定的。所有模拟中,标签数量由步长为5递增至70,初始帧长设为16。如无说明,取遗忘因子为0.85。采用最大帧长估计技术来适应下一读周期的帧长。

图1为几种标签数目估计技术识别系统中,所有标签所需时隙数的比较。从图中可以看出,加权泊松标签估计技术和加权切比雪夫不等式标签估计技术的性能略优于不加权的标签估计技术。图2为几种标签数目估计技术识别系统中,所有标签所需读周期数目的比较。可以明显看出,当系统中的标签数量较少(约40个)时,泊松估计技术和加权泊松估计技术的性能更好,而切比雪夫不等式估计技术和加权切比雪夫不等式技术的性能随着系统中标签数量的增加而提高。

由此可以得出结论,加权切比雪夫不等式标签估计技术的效果优于其他几种标签估计技术。为了更好地观察

图1中性能测试结果的差异,以加权切比雪夫不等式标签估计技术为基准,绘制了其他几种技术所需时隙数与加权切比雪夫不等式技术所需时隙数之差,如图3所示。可以清楚地看到,加权泊松估计技术是仅次于加权切比雪夫不等式估计技术的替代技术。

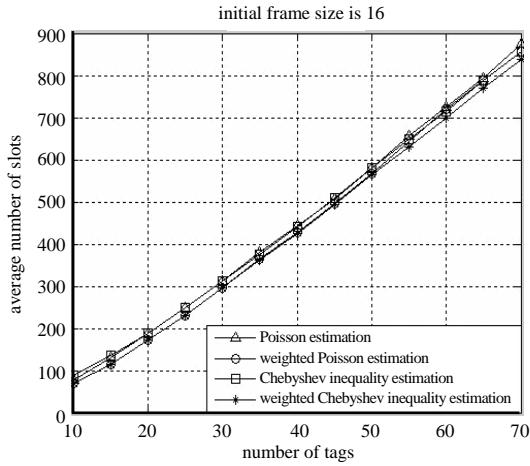


Fig.1 Performance comparison of various tag number estimation techniques in terms of the number of time slots required to identify all tags

图 1 几种标签数目估计技术识别系统中所有标签所需时隙数比较

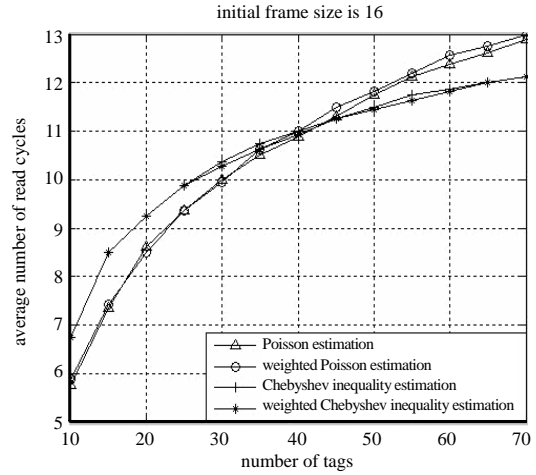


Fig.2 Performance comparison of various tag number estimation techniques in terms of the number of read cycles required to identify all tags

图 2 几种标签数目估计技术识别系统中所有标签所需读周期数目

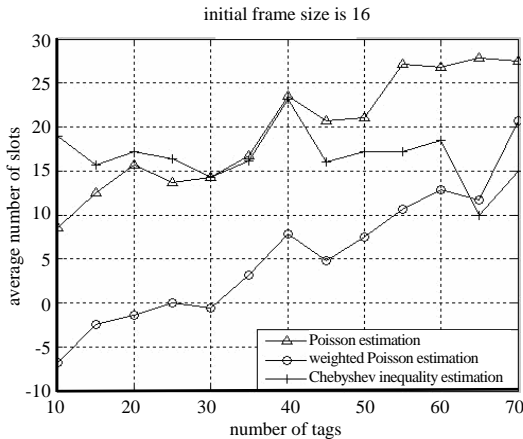


Fig.3 Performance comparison among various tag number estimation techniques and the weighted Chebyshev inequality techniques

图 3 几种标签数目估计技术与加权切比雪夫不等式标签估计技术的性能比较

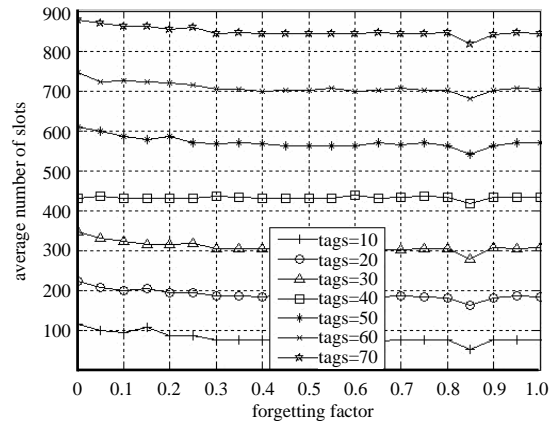


Fig.4 Performance analysis of forgetting factor in terms of the number of read cycles required to identify all tags

图 4 遗忘因子对系统性能的影响

3.2 遗忘因子的选择

遗忘因子 λ 的引入,使算法具有连续修正参数的能力,但伴随着算法的这种数据跟踪效果,在有噪声的情况下,将引起参数估计值的方差增大。 λ 越小,参数估计值适应得越快,但同时它们跟踪噪声的趋势越大。当 λ 变得较大时,则产生相反的效果。如何在快速自适应能力和参数估计精确度损失这两方面做折衷的考虑,以选择最合适的 λ 值,目前尚无有效方法,通常根据经验或试验来进行选择^[9]。

在 3.1 节的模拟分析中,遗忘因子 λ 的值被设置为固定的 0.85。准确选择遗忘因子在加权标签数目估计技术的性能评估中起着至关重要的作用,它的值介于 0 和 1 之间。若遗忘因子具有零值表示,则该标签估计技术只受到当前读周期数据的影响;反之,若读标签估计技术只是受到以前读周期数据的影响,则遗忘因子为 1。根据识别系统中所有标签所需的时隙数来选择 λ 的值。所有模拟中,性能统计数据都是由 6 000 次模拟平均确定的。 λ 的值以步长为 0.05 由 0 递增至 1,初始帧长设为 16,且已知标签总数。图 4 代表给定标签数量为 10,20,30,40,50,60 和 70 时所需时隙的平均数目。从图中可以看出,当 λ 的值为 0.85 时该系统需要较少的时隙数以识别系统中的所有标签。因此分析加权标签数目估计技术的性能时选择 λ 值为 0.85。

4 结论

本文在现有的泊松标签估计算法和加权切比雪夫不等式标签估计算法的基础上,使用序贯加权最小二乘算法,引入遗忘因子,对标签数量进行连续加权估计,提出了序贯加权标签估计方法。仿真结果表明,该改进方法有效地减少了 RFID 系统识别标签所需的时隙数和读周期数,节省了时间,提高了系统的工作效率。当标签数目不超过 70 个时,由仿真得到最佳遗忘因子为 0.85。因此,该改进措施可有效地应用于港口码头、车站或物流中心的集装箱管理或物流配送管理,以改善由于 RFID 系统多标签碰撞而导致的货物流通缓慢或拥堵问题。

参考文献:

- [1] 王视环. 基于 RFID 和 WLAN 技术的物联网应用分析[J]. 信息与电子工程, 2010,8(5):603-606. (WANG Shihuan. Applications analysis of IOT based on RFID and WLAN technologies[J]. Information and Electronic Engineering, 2010,8(5):603-606.)
- [2] Law C, Lee K, Siu K Y. Efficient memoryless protocol for tag identification[C]// DIALM'00 Proceedings of the 4th international workshop on discrete algorithms and methods for mobile computing and communications. New York:[s.n.], 2000:75-84.
- [3] Cha J R, Kim J H. Dynamic framed slotted ALOHA algorithms using fast tag estimation method for RFID system[C]// Consumer Communications and Networking Conference. Las Vegas:[s.n.], 2006:768-772.
- [4] Zhen B, Kobayashi M, Shimizu M. Framed ALOHA for multiple RFID objects identification[J]. IEICE Transactions on Communications, 2005, E88-B(3):991-999.
- [5] Fan X, Song I C, Chang K H. Gen2-based hybrid tag anti-collision Q algorithm using Chebyshev's inequality for passive RFID systems[C]// IEEE 19th International Symposium on PIMRC. Cannes:[s.n.], 2008:1-5.
- [6] Lee D, Bang O, Im S, et al. Efficient dual bias Q-algorithm and optimum weights for EPC Class 1 Generation 2 Protocol[C]// 14th European Wireless Conference 2008. Prague:[s.n.], 2008:1-5.
- [7] Yun U, Leggett J J. WSpan: Weighted Sequential pattern mining in large sequence databases[C]// 2006 3rd International IEEE Conference on Intelligent Systems. London:[s.n.], 2006:512-517.
- [8] 罗续成. 实时加权递推最小二乘估计及其初步应用[J]. 导弹与航天运载技术, 1995,23(1):40-49. (LUO Xucheng. Real-time weighted recursive algorithm of least squares estimation and its initial applications[J]. Missiles and Space Vehicles, 1995,23(1):40-49.)
- [9] 梁艳春, 王在申. 遗忘因子选取对于时变参数识别结果的影响[J]. 宇航学报, 1996,17(1):75-80. (LIANG Yanchun, WANG Zaishen. Effect of forgetting factors on estimated results of time varying parameters[J]. Journal of Astronautics, 1996,17(1):75-80.)

作者简介:



王 萌(1984-),女,吉林省桦甸市人,在读硕士研究生,主要研究方向为信号检测与信号处理理论与技术.email:61744210@qq.com.

陈殿仁(1952-),男,长春市人,教授,博士生导师,主要研究方向为微波通信系统.