

动态帧时隙 ALOHA 算法的改进*

郭志涛^{1a}, 程林林^{1b}, 周艳聪², 顾军华^{1b}

(1. 河北工业大学 a. 信息工程学院; b. 计算机与软件学院, 天津 300401; 2. 天津商业大学 计算机学院, 天津 300401)

摘要: 动态帧时隙 ALOHA 算法在标签数增加过多的情况下, 所需时隙数增长过快; 而由于硬件限制, 时隙数不能无限增长。为改进此不足, 可从以下三个步骤优化算法。首先根据 hash 函数进行时隙分配, 将标签分配到不同的时隙; 其次根据三维估计方法估计标签数, 为下一周期调整帧长做准备; 最后根据估计到的标签数调整帧长, 当帧长为标签数的 1.7 倍时, 识别效果最好。实验结果表明, 标签数相同的情况下, 本算法所用的时隙数最少。

关键词: 动态帧时隙 ALOHA; 时隙分配; 标签估计; 帧长

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)03-0907-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.03.029

Improve of dynamic framed slotted ALOHA algorithm

GUO Zhi-tao^{1a}, CHENG Lin-lin^{1b}, ZHOU Yan-cong², GU Jun-hua^{1b}

(1. a. School of Information Engineering, b. School of Computer & Software, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 2. School of Computer, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300401, China)

Abstract: When using the dynamic framed slotted ALOHA algorithm, the defect is that the necessary time slot increases too fast with the increase of tags. But in reality, the time slot cannot increase indefinitely due to the hardware restraint. To make it better, this paper proposed three improved aspects as follows. First, it used hash function to distribute the time slot to different tags. Then, it used three-dimensional method to estimate the amount of tags in order to adjust the length of frame for next cycle. After adjustment it could be best resulted when the frame length was 1.7 times of the amount of tags. The experiment result shows that with the same amount of tags, this algorithm interpreted in this article uses the least time slots.

Key words: dynamic framed slotted ALOHA; slot assignment; tag estimation; frame length

动态帧时隙 ALOHA 算法是在 ALOHA 算法的基础上经改进而得到的, 它弥补了固定帧时隙 ALOHA 算法比较明显的缺点, 即当标签数过多时, 增加识别时间; 而当标签数过少时, 浪费时隙。动态帧时隙 ALOHA 算法根据每帧中的空闲和碰撞情况, 动态调整帧长以提高识别效率。目前, 改进的动态帧时隙 ALOHA 算法大部分是根据标签碰撞和空闲的概率来调整帧长。例如, 当识别周期内碰撞概率大于 0.7 时帧长增加一倍, 当空闲概率大于 0.3 时就将帧长减半。采用该方法时, 碰撞的随机性使系统稳定性变差, 而且当标签数量增多时, 虽然增大帧长可在一定程度上改善系统性能, 但由于实际应用中帧长并不能无限增加, 因此, 动态帧时隙 ALOHA 算法在标签数增加过多时并没有表现出其优越性。

1 时隙分配

由于标签选择时隙的随机性, 使得当标签数增加过多时, 碰撞发生的概率增大。若能通过一种科学的时隙分配算法实现如下功能: 在时隙数比标签数较少时, 大部分标签能被分配到唯一的时隙上, 这样就可以大大减少碰撞发生的概率, 缩短系统识别时间, 提高系统识别率。并且当碰撞发生后, 阅读器

能统计出本周期中出现的碰撞时隙数量 C_k 、可读时隙数量 C_1 以及空时隙数量 C_0 , 根据统计理论和上述三个参数, 估计出未识别标签的数量 C_2 。

减少碰撞的理想情况是: 帧长度和出现在阅读器识别区域内的标签数基本相等, 并且标签能均匀地分布在不同时隙发送信息。本文算法采用 hash 函数分配时隙, 函数的选择有两条标准, 即简单和均匀。简单是指 hash 函数的计算简单快速; 均匀是指 hash 函数能以等概率将标签分配到时隙上, 以使碰撞最小化。

根据 hash 函数构造原则, 结合算法的实用性, 本文选择下面的 hash 函数:

$$\text{hash}(\text{ID}) = (\text{ID}/w) \% [L] \quad (1)$$

其中: ID 表示标签的唯一识别码; w 为阅读器发送给标签参与运算的正整数; L 表示帧长度, 为保证 hash 运算的效果, $[L]$ 一般取接近帧长的较小的质数。若某标签的 $\text{ID} = (110000)_2$, $w, [L]$ 值分别为 1, 7, 根据式(1)得 $\text{hash}(\text{ID}) = 6$, 那么 $\text{ID} = (110000)_2$ 的标签选择 6 号时隙发送数据。

Hash 运算如果发生冲突, 标签就会选择相同的时隙, 从而发生标签碰撞。在算法中, 必须适当改变参数, 使当前帧中碰

收稿日期: 2011-06-21; 修回日期: 2011-08-24 基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(F2010000142)

作者简介: 郭志涛(1979-), 男, 河北唐山人, 讲师, 博士, 主要研究方向为射频识别、智能算法; 程林林(1986-), 女, 山东临清人, 硕士, 主要研究方向为射频识别防碰撞算法(qingyang0320@126.com); 周艳聪(1978-), 女, 河北衡水人, 讲师, 博士, 主要研究方向为智能信息处理、物流优化; 顾军华(1966-), 男, 河北石家庄人, 教授, 主要研究方向为智能信息处理、宽带网络应用技术、虚拟现实理论与方法。

撞的标签尽可能映射到下一帧的不同时隙。例如,在阅读器识别范围内有两个标签, ID 分别为 $ID_1 = (110000)_2$, $ID_2 = (111110)_2$ 。当 $w=1, \lfloor L \rfloor = 7$ 时,由式(1)可以得到 $\text{hash}(ID_1) = \text{hash}(ID_2) = 6$,两标签在 6 号时隙同时发送数据,产生碰撞。将两标签的 ID 分别表示为 $ID_1 = 48 = 6 \times 7 + 6$, $ID_2 = 8 \times 7 + 6$,发现 ID_1, ID_2 的差异在于它们包含不同个数的 7,要将两个标签分配到不同时隙,只需在下一帧中令 $w = 7, \lfloor L \rfloor = 11$ 进行 hash 运算, $\text{hash}(ID_1) = 6, \text{hash}(ID_2) = 8$,这样两标签在不同时隙发送数据,避免了再次碰撞。

通过上面的分析和 hash 函数的性质可以得出 hash 函数参数 w 改变的原则是:下一帧的 w 值是当前帧 w 与 $\lfloor L \rfloor$ 的乘积,此时 hash 运算得到最佳时隙值,可以将碰撞降低到最小。

2 标签估计方法

在 RFID 系统应用中,阅读器范围内的 RFID 标签数往往是未知的。要解决 RFID 防碰撞问题,首先需要标签数进行预测。目前由以下预测方法来实现:

- a) 最小预测。当有冲突出现时,一个碰撞时隙中至少存在两个以上的标签,可以预测发生碰撞的标签个数为 $2 \times N_c$ 。
- b) Schout 预测。若在每个帧中标签选择时隙符合 $\lambda = 1$ 的泊松分布,则每个碰撞时隙内平均响应的标签数约为 2.39,这样可以预测未识别的标签数为 $2.39 \times N_c$ 。
- c) 根据已有的碰撞时隙中的平均标签数 e 和碰撞时隙所占比例 P_0 的关系预测标签数,提出新的预测方法。对于相同的标签数和帧长度,其每次识别的标签数也是不同的。所以将空闲时隙也作为一个考虑因素,对其数据进行统计和分析,算法流程如图 1 所示。

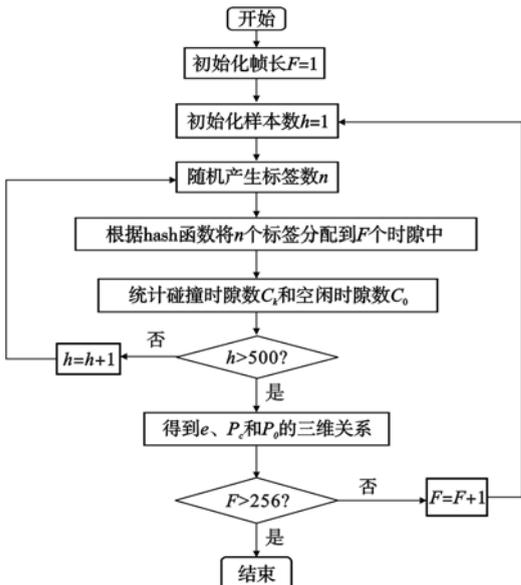


图 1 流程图

流程图中取样本数为 500,假定帧长度最大为 256,当帧长大于 256 时,结束实验。经过实验得到不同碰撞时隙和空闲时隙时 e 的平均值,即为样本,知道实际帧长后,利用插值对样本进行 e 值选取。通过得到碰撞时隙中的平均值 e 与碰撞时隙所占比例 P_0 、空闲时隙所占比例 P_c 的关系,估计出未识别的标签数。帧长度不同时,估算个数与实际之间的误差如图 2 所示。

由图 2 可以得到,不同帧长度时,碰撞时隙中的平均标签

数 e 与碰撞时隙所占比例 P_0 、空闲时隙所占比例 P_c 的关系基本相同。所以对 $F = 128$ 进行分析,将其作为样本,比较分析方法与未考虑空闲时隙所占比例的估计方法。

对本文方法与没有考虑空闲时隙数的估计方法的误差率进行比较,取八个坐标点比较,如表 1 所示。

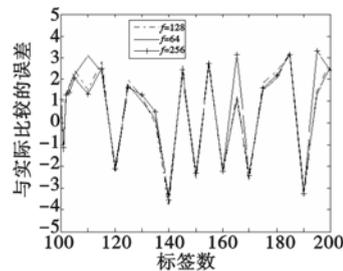


图 2 不同帧估计的比较

标签数	误差率/% (二维)	误差率/% (三维)
105	5.49	4.4
115	4.81	4.81
125	2.94	1.96
135	1.71	0
145	9.16	7.63
155	2.84	2.84
165	2.61	3.27
175	2.41	1.83

由表 1 可知,本文采用的三维标签数估计方法产生的误差率要比二维标签数估计方法小,可以减少估计的误差,为较准确地估计未读标签数提供了依据。

3 确定帧长

在以 ALOHA 算法为基础的防碰撞算法中,由于不能及时准确地根据标签数调整帧长度,所以一个帧中的时隙数比标签数较多时,空闲时隙则过多;相反,则碰撞时隙又过多,这样均会降低标签识别效率。基于上述原因,必须找到帧长和标签数之间的比例关系。一些文献在假设空闲时隙、碰撞时隙和可读时隙所占用的时间都相同,或碰撞时隙和可读时隙的时间相同的情况下,推导出若干标签数和帧长关系式,从而得到系统最大信道利用率。为了提高信道利用率,有时并不一定要把这些时隙的时间设为一样。在 ISO18000-6C 和 EPC C1 Gen2 标准中,碰撞时隙、空闲时隙和可读时隙所占用的时间就不一样。标准中规定,标签先向阅读器发送 16 位随机码 RN16,若阅读器没有接收到任何信息,则提前终止时隙;若正确接收到信息,标签再发送 64 位 EPC 数据;若发生冲突,则不再发送 EPC。因此,这些标准中的空闲时隙时间最短,其次是碰撞时隙,可读时隙的时间最长。

设 t_0, t_k, t_1 分别为空闲时隙、碰撞时隙和可读时隙所占用的时间,那么系统信道利用率可以表示为

$$P_s = \frac{C_1 t_1}{C_0 t_0 + C_1 t_1 + C_k t_k} \quad (2)$$

假设 L 与 n 具有线性关系 $L = kn + \varepsilon$ (ε 为修正值),那么

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} (1 - \frac{1}{kn})^n = e^{-\frac{1}{k}} \quad (3)$$

把式(3)代入式(2),并令 $\alpha = \frac{t_0}{t_1}, \beta = \frac{t_k}{t_1}$,有

$$P_s \approx (k\beta e^{\frac{1}{k}} + k(\alpha - \beta) + 1 - \beta)^{-1} \quad (4)$$

由式(4)可得

$$P_s^* |_{\alpha < \beta < 1} > P_s^* |_{\alpha < \beta = 1} > P_s^* |_{\alpha = \beta = 1} \quad (5)$$

其中: $P_s^* |_{\alpha < \beta < 1}, P_s^* |_{\alpha < \beta = 1}, P_s^* |_{\alpha = \beta = 1}$ 分别为 $\alpha < \beta < 1, \alpha < \beta = 1, \alpha = \beta = 1$ 时的最大信道利用率。由式(5)可以看出,系统的最大信道利用率在系统的空闲时隙占用时间小于碰撞时隙,碰撞时隙占用时间又小于可读时隙时,可以得到提高。当帧长等于标签数即 $k = 1$ 时,将其代入式(4)(5),可知 $P_s^* |_{\alpha < \beta < 1} > P_s^* |_{\alpha = \beta = 1} = 1/e = 0.368$,即当空闲时隙时间小于碰撞时隙且碰撞时隙时间又

小于可读时隙时,最大信道利用率可以超过三种时隙时间相同下的信道利用率极值 0.368。

在动态帧时隙 ALOHA 算法中,一些文献均是在系统的空时隙、碰撞时隙和可读时隙的时间相同的前提下认为:当帧长度确定为标签数相等时,系统能达到最大信道利用率。在帧长为 L , 标签数为 n 的情况下,一个帧内平均的空时隙数、可读时隙数和碰撞时隙数分别为

$$C_0 = L(1 - \frac{1}{L})^n, C_1 = n(1 - \frac{1}{L})^{n-1}$$

$$C_k = L[1 - (1 - \frac{1}{L})^n - (\frac{n}{L})(1 - \frac{1}{L})^{n-1}]$$

求式(2)中 P_s 关于 L 的导数,并把 $L=n$ 代入,可得

$$\frac{dP_s}{dL}|_{L=n} = 0 \Leftrightarrow \alpha = \beta \quad (6)$$

式(6)表明,若空时隙与碰撞时隙的时间不相同,即使按照某些文献的方案使帧长度等于标签数也不能使系统的信道利用率达到最大值。接下来给出最大信道利用率时的最优帧长方案。假定式(4)中的 P_s 在 $k=k^*$ 达到最大值,帧的时隙数 L 与标签数 n 线性相关,那么最优帧长可以表示为

$$L = \lfloor k^* n \rfloor \quad (7)$$

其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整。关键问题就是对 k^* 求解,即求式(4)中 P_s 的最大值。该问题涉及凹凸理论,较为复杂。为简化问题,本文考虑对于一个 RFID 系统, α, β 为固定值,无须对 k^* 实时求解,可预先求解后再存储,而且帧长值只取整数, k^* 不需要很精确,因此可采用作图法来求 k^* 。作出式(4)中 P_s 关于 k 在一定 α, β 下的曲线图可知,该曲线具有唯一最大,而最大值所对应的 k 值即为所求。例如,当 $\alpha=0.25, \beta=0.5$ 时, P_s 在 $k=1.3$ 时取得最大值,因此 $k^* \approx 1.3$ 。

在标签数固定为 $n=100, t_0, t_k, t_1$ 分别为 50、200、400 μs 时,相应地, $\alpha=0.125, \beta=0.5$ 。图3给出了在不同帧长下平均每个标签识别时间随标签数变化的曲线。其中平均每个标签识别时间 t' 定义为

$$t' = \frac{\sum_{i=1}^I C_0^i t_0 + C_1^i t_1 + C_k^i t_k}{n} \quad (8)$$

其中 I 表示识别所有标签共需要的帧个数。从图3中可以看到有三种曲线识别时间大约在 565 ~ 595 μs 之间,而 $L=1.7n$ 时识别时间最少,大约在 550 ~ 555 μs 之间。由于通过式(7)的理论计算曲线可以得到当 $\alpha=0.125, \beta=0.5$ 时,信道利用率在 $k=1.7$ 时达到最大,因此它的标签识别时间也最少。

为验证本文算法的系统效率,图4给出了改进的动态帧时隙 ALOHA 算法与动态帧时隙 ALOHA 算法、固定帧时隙 ALOHA 算法所用的时隙数比较结果。从图中可以看出,标签数相同的情况下,改进的动态帧时隙 ALOHA 算法所用的时隙数最少,为减少碰撞、提高系统效率提供了依据。

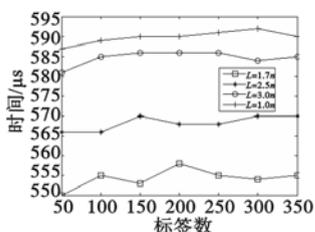


图3 不同帧长的平均标签识别时间

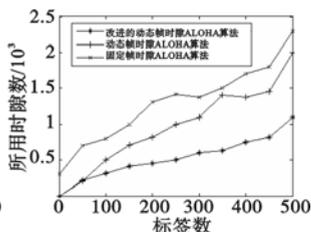


图4 改进算法与已有算法所用时隙数的比较

4 结束语

为解决动态帧时隙 ALOHA 算法在标签数增加过多时所需时隙数增长过快的不足,首先以 hash 函数为分配原则,对标签进行时隙分配,以减少发生碰撞的标签数,然后根据碰撞时隙中的平均值与碰撞时隙所占比例、空闲时隙所占比例的三维关系估计出未识别的标签数,相比较已有的估计方法,三维估计方法产生的误差率较小。由于当空时隙占用时间小于碰撞时隙、且碰撞时隙占用时间小于可读时隙时,把帧的时隙数定为标签数并不能使标签识别时间减为最少。例如,空时隙、可读时隙和冲突时隙占用时间为 50、200 和 400 μs 时,采用本文方案,把帧长时隙数设为标签数的 1.7 倍,每个标签的平均识别时间大约为 550 μs ,而当帧长度等于标签数时,每个标签的平均识别时间大约在 595 μs 以上。

参考文献:

- [1] 张虹,韩磊,马海波. Hash-tree 反碰撞算法[J]. 计算机工程,2007,33(30):67-69.
- [2] 徐圆圆,曾隽芳,刘禹. 基于 ALOHA 算法的帧长及分组数改进研究[J]. 计算机应用,2008,28(3):588-590.
- [3] 杜俊宇,何宁. RFID 系统中一种动态帧时隙算法的研究与仿真[J]. 计算机系统应用,2009,18(12):51-54.
- [4] 阙大顺,汪盛虎,张浩. 帧时隙 ALOHA 的快速防冲突算法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(35):49-51.
- [5] CHA J R, KIM J H. Novel anti-collision algorithm for fast object identification in RFID system[C]//Proc of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Washington DC: IEEE Computer Society,2005:63-67.
- [6] LEE S R, JOO S D, LEE C W. An enhanced dynamic framed slotted ALOHA algorithm for RFID tag identification[C]//Proc of the 2nd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services. Washington DC: IEEE Computer Society, 2005:166-174.
- [7] CHEN W T. An accurate tag estimate method for improving the performance of an RFID anti-collision algorithm based on dynamic frame length ALOHA[J]. IEEE Trans on Automation Science and Engineering,2009,6(1):9-15.
- [8] 翟永,徐进. 一种用于 RFID 系统的防碰撞算法[J]. 计算机工程,2009,35(9):272-274.
- [9] 陈华媛,王淑艳,吴仁彪. 基于帧时隙 ALOHA 算法的标签估算数据分析[J]. 信号处理,2009,25(8A):651-654.
- [10] 皮扬,刘长江. 动态分配时隙 ALOHA 的抗碰撞算法[J]. 计算机工程,2009,35(7):270-272.
- [11] 邓晓,何怡刚,陈洪云,等. 帧时隙 ALOHA 反碰撞算法仿真及数据分析[J]. 汕头大学学报:自然科学版,2008,23(3):58-61.
- [12] 程良伦,林伟勇. 一种稳定高效的动态帧时隙 ALOHA 算法[J]. 计算机应用研究,2009,26(1):85-91.
- [13] 李举成,易灵芝,王根平. 基于 hash 函数的 RFID 系统防碰撞算法的研究[J]. 计算机测量与控制,2009,17(10):2065-2067.
- [14] 邹雪城,童乔凌,刘冬生,等. 基于贝叶斯估计的 RFID 帧时隙 ALOHA 算法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2010,38(7):74-77.
- [15] 吴海峰,曾玉. RFID 动态帧时隙 ALOHA 防冲突中的标签估计和帧长确定[J]. 自动化学报,2010,36(4):620-624.
- [16] 宋远征,王海滨,王维博. 增强型动态帧时隙 ALOHA 算法[J]. 西华大学学报:自然科学版,2010,29(3):13-16.