

基于混合溢出树搜索的帧时隙 ALOHA 防碰撞算法

夏静满¹ 肖国强¹ 陈 凯¹ 詹春梅²

(西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)¹ (西南交通大学交通运输与物流学院 成都 610031)²

摘 要 为提高射频识别系统中电子标签防碰撞算法的识别效率,提出了一种结合精确标签估计和混合溢出树搜索的帧时隙 ALOHA 算法。算法将识别过程分为标签估计和标签识别两个阶段。在标签估计过程中,通过精确估计标签数量来对初始帧时隙大小进行优化。在标签识别阶段,利用改进的混合溢出树搜索算法对时隙内的碰撞标签进行快速识别。实验结果表明,该算法能够有效地改善射频识别的防碰撞性能,提高 RFID 系统的标签识别效率。

关键词 射频识别,帧时隙 ALOHA,防碰撞算法,混合溢出树

中图分类号 TN929.1 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.12.015

Framed Slotted ALOHA Anti-collision Algorithm Using Hybrid Spill-tree

XIA Jing-man¹ XIAO Guo-qiang¹ CHEN Kai¹ ZHAN Chun-mei²

(College of Computer & Information Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)¹

(School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)²

Abstract To improve the efficiency of electronic tag anti-collision algorithm in radio frequency identification systems, a new frame slot ALOHA algorithm was proposed which takes advantage of accurate tag estimation and hybrid spill tree. The algorithm includes two stages, which are tag estimation and tag recognition. In the label estimation stage, the initial frame slot size is optimized by the accurate estimation of the number of labels. In the tag recognition stage, the collided tags in a slot are recognized rapidly by using the improved hybrid spill tree search algorithm. Experimental results show that the algorithm can effectively improve the performance of RFID anti-collision, and increase the efficiency of tag recognition in a RFID tag identification system.

Keywords RFID, Framed slotted ALOHA, Anti-collision algorithm, Hybrid spill-tree

1 引言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)又称电子标签,是一种通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据的通信技术^[1]。它无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学形式的物理连接,且支持有源、半有源、无源多种标签类型,因此 RFID 设备使用快捷便利,目前已经广泛应用于门禁、防伪、医疗、仓库管理、自动收费等系统^[2,3]。

在射频识别技术发展过程中,一直以来电子标签防碰撞算法都是技术研究的重点问题^[4]。目前,国外学者提出的较有代表性的标签防碰撞算法有自适应二进制树搜索算法^[5]、高密度标签环境防碰撞算法^[6]、基于能量感知的防碰撞算法等^[7]。在我国,陈等人提出一种结合精确标签估计和二进制搜索的帧时隙 ALOHA 算法,极大地改善了防碰撞性能^[8]。

为了进一步提高 RFID 系统中电子标签防碰撞算法的识别效率,受混合溢出树(Hybrid Spill Tree)^[9,10]启发,本文提出一种结合精确标签估计和改进的混合溢出树搜索的帧时隙 ALOHA 防碰撞算法。该算法有效利用了混合溢出树对于落入其重叠区域的数据可以一次检索命中、检索效率高的特点,

不仅能够优化帧时隙分配,而且能够极大地提高算法的检索效率。

2 帧时隙 ALOHA 算法

典型的帧时隙 ALOHA 算法将时域分成多个离散的同大小的时隙,然后将 N 个时隙打包成一个帧,标签在每 N 个时隙中只随机发送一次信息。该算法需要阅读器和标签之间的同步操作。由于每一帧的时隙数需要提前设定,因此其是一种随机的、由阅读器控制的时分复用防碰撞算法。

由于处在阅读器覆盖范围内的标签数量是不确定的,因此在帧时隙 ALOHA 算法运行中存在如下两种极端情况。当标签数量远大于每一帧时隙数时,几乎在每一个时隙里都会发生数据碰撞,并且在接下来的帧时隙里,碰撞会继续发生,最终导致在很长一段时间内阅读器无法完成对覆盖区域内的标签的识别。第二种情况恰好相反,即当标签数量远小于帧时隙数量时,时隙不能得到有效利用,宝贵的信道资源被浪费。

为了解决该问题,有学者提出动态帧时隙 ALOHA 算法。该算法对标签进行识别之前,引入标签估计过程,即通过

到稿日期:2014-01-28 返修日期:2014-03-25 本文受重庆市自然科学基金(CSTC2010BB2230)资助。

夏静满(1988-),男,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统;肖国强(1965-),男,博士,教授,主要研究方向为信号与信息处理、无线网络通信、嵌入式系统;陈 凯(1982-),男,硕士,工程师,主要研究方向为数字媒体处理与通信;詹春梅(1982-),女,硕士生,主要研究方向为交通运输工程。

某种方法对阅读器识别范围内的标签数量进行估计,根据估计结果再对初始帧时隙大小进行适当的调整。研究表明,该类算法可以极大提高 RFID 标签的识别效率,已成为目前解决射频识别问题的趋势。本文的算法亦将按此结构进行设计。

3 改进的帧时隙 ALOHA 算法

为了提高帧时隙 ALOHA 的识别效率,本文提出一种结合精确标签估计和混合溢出树搜索的帧时隙 ALOHA 算法。该算法将整个帧时隙 ALOHA 算法过程分为标签估计和标签识别两个阶段。在标签估计阶段,对标签数量进行精确估计,并根据估计结果设定帧时隙 ALOHA 算法中初始帧时隙大小的最佳值。进入标签识别阶段后,按照帧时隙 ALOHA 算法随机为标签分配时隙并开始进行识别过程,如果在某个时隙发生标签碰撞,则采用混合溢出树搜索算法对发生碰撞的标签进行选择识别。

3.1 标签估计

在整个算法过程中,精确的标签估计直接决定了整个算法的识别效率。假设帧时隙大小和标签数量分别为 N 和 n ,由于每个标签被分配在每个时隙里的概率是一样的,为 $1/N$,因此可以推出在一个时隙里存在 t 个标签的概率如下:

$$P(X=t) = \binom{n}{t} \left(\frac{1}{N}\right)^t \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-t} \quad (1)$$

假设分别存在 S 、 E 和 C 个时隙 ($E+S+C=N$),其中 S 表示在这 S 个时隙中分别只有一个标签成功发送数据, E 表示在这 E 个时隙中没有标签发送数据, C 表示在这 C 个时隙中分别存在两个或两个以上标签发送数据,即在每个时隙中发生了碰撞,则:

$$\begin{aligned} E &= N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \\ S &= n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \\ C &= N - E - S \end{aligned} \quad (2)$$

于是,系统的吞吐量 T 为:

$$T = \frac{S}{N} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (3)$$

对变量 N 进行求导计算并使其结果为零,可解得:

$$N = n$$

由上式可知,当帧时隙的数量恰好等于标签数量的时候,系统的吞吐量达到最大值,同时阅读器识别所有标签所需要的时间也将得到最小化。

定义 P_C 、 P_E 、 P_S 分别为在一帧时隙中发生碰撞、无标签发送数据、单个标签成功发送数据的概率,由式(3)可得:

$$\begin{aligned} P_E &= \frac{E}{N} = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \\ P_S &= \frac{S}{N} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \\ P_C &= \frac{C}{N} = 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n - \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \end{aligned} \quad (4)$$

一旦帧时隙 N 被设定,即可通过阅读器发送相关指令开始对标签数量进行估计,在第一帧的估计结束之后,可以得到 E 、 S 、 C 的值,并求出 P_C ,最终可以求得 n 值,即标签数量。

3.2 标签识别

进入标签识别阶段,按照帧时隙 ALOHA 算法由阅读器发送相关指令将时隙随机分配给所有待识别标签,并开始对

其进行识别,若在某个时隙中有标签发生碰撞,则采用改进的混合溢出树搜索算法对这些标签进行选择识别,直到识别结束。

比较典型的标签搜索算法有 Lowe 提出的 Best-Bin-First (BBF)算法^[11,12],以及 Gionis 和 Indyk 等人提出的位置敏感哈希(Locality Sensitive Hashing, LSH)算法^[13,14]。BBF 算法在 KD-Tree 基础上引入优先权序列,优化了回溯追踪策略,解决了 20 维以上的数据的最近邻查找问题。LSH 算法基于哈希表(Hash table)搜索的思想,利用一组具有一定约束条件的哈希函数来建立多个哈希表,降低了搜索的时间复杂度。本文则采用更为高效的混合溢出树方法。该方法的核心思想是通过设置左右子树可以部分共享的重叠缓冲区来加大第一次搜索的命中率,从而减少回溯过程的开销。

假设 I_v 表示节点(node) v 所代表的点集, $v.lc$ 和 $v.rc$ 分别代表 v 的左右两个子树(child), $v.lp$ 和 $v.rp$ 分别代表 v 的左右两个支点(pivot), p_1 、 p_2 分别为左右两个子树中的任意一点,那么度量树(metric tree)^[15]可表示为

$$\begin{aligned} I_v &= I_{v.lc} \cup I_{v.rc} \\ 0 &= I_{v.lc} \cap I_{v.rc} \\ \|v.lp - v.rp\| &= \max_{p_1, p_2 \in I_v} \|p_1 - p_2\| \end{aligned} \quad (5)$$

在度量树方法中,判别边界 L 选择为 $v.lp$ 和 $v.rp$ 的中值点(见图 1(a))。溢出树(spill tree)方法在度量树基础上增加了左右两个判别边界,用 LL 和 RL 表示(见图 1(b)),可以表示为

$$\begin{aligned} I_{v.lc} &= \{x | x \in I_v, d(x, LR) + 2\tau > d(x, LL)\} \\ I_{v.rc} &= \{x | x \in I_v, d(x, LL) + 2\tau > d(x, LR)\} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, LL 与 LR 之间的阴影区域为重叠缓冲(overlapping buffer)。回溯追踪是搜索算法中最耗时的阶段,溢出树算法通过设置重叠缓冲,增加了一次搜索的命中率,从而提高了搜索效率。

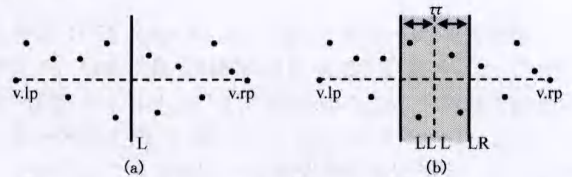


图1 度量树和溢出树的节点分割

根据溢出树算法的原理可知,搜索的深度取决于重叠缓冲的宽度大小。需要注意的是,当 τ 为 0 时,溢出树退化为度量树;当 $\tau \geq \|v.rp - v.lp\| / 2$ 时, $I_{v.lc} = I_{v.rc} = I_v$,溢出树的分割陷入无限循环。

为了避免上述情况的发生,作者采用了混合溢出树方法。混合溢出树可以视为对于非平衡节点处的度量树和平衡节点处的混合溢出树的融合。对于左右点集分布不平衡的节点,采用非重叠方式构建数据结构,即采用度量树方法;而对于分布均衡的节点,采用溢出树方法。

图 2 对比了 KD-Tree、Best-Bin-Fist 算法与溢出树算法的区别。采用 KD-Tree 方法时,需要遍历 3 个区域才能找到 P 的近似点 Q ,即搜索过程为图 2(a)→图 2(b)→图 2(c); Best-Bin-Fist 算法通过优先权序列跳过对区域 II 的搜索,搜索过程为图 2(a)→图 2(c);而溢出树方法则直接命中搜索目标,如图 2(d)所示。

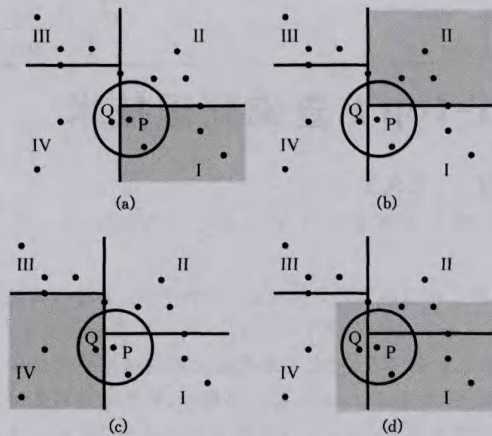


图2 度量树和溢出树的节点分割

4 仿真与分析

4.1 仿真设置

为了检验本文算法的识别效率,作者将本文算法与典型帧时隙 ALOHA 算法、动态帧时隙 ALOHA 算法进行了不同标签数量环境下的仿真对比。在仿真过程中,令 $P_{\max}=0.8$, $P_{\min}=0.2$, $N=128$,帧时隙 ALOHA 算法中的帧时隙大小设为 256。仿真的硬件平台为配置为 2.4GHz Intel Core CPU 和 4GB RAM 的工作站。

4.2 仿真结果

上述 3 种算法识别过程的仿真结果如图 3 所示,其中横坐标代表标签数量,纵坐标代表在不同标签数量下不同算法识别所有标签所用的时隙数量。从图中可以看出,随着标签数量的不断增多,本文算法每帧所成功发送的标签数量不断增多,识别效率不断提高,明显优于典型帧时隙 ALOHA 算法;而且,在识别过程中所需时隙数与标签数量基本呈线性关系,便于系统整体工作任务的时间调配。

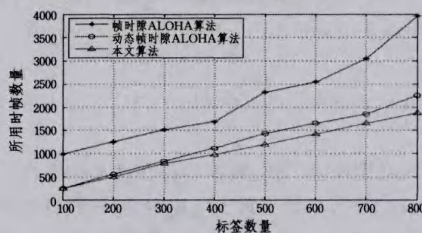


图3 仿真结果对比

同时,得益于混合溢出树这种高效率标签检索机制的引入,本文算法的处理时间仅为标准动态帧时隙 ALOHA 算法的 27.21%,为采用 BBF 的动态帧时隙 ALOHA 算法的 57.30%,为采用 LSH 的动态帧时隙 ALOHA 算法的 79.75%。

结束语 本文对帧时隙 ALOHA 防碰撞算法进行了分析,阐述了其存在的不足,并针对帧时隙 ALOHA 搜索算法

标签识别效率问题,引入一次搜索命中率极高的混合溢出树搜索算法,提出了结合精确标签估计和混合溢出树搜索的帧时隙 ALOHA 算法。不同标签数量环境下的仿真对比结果表明,本文算法进一步提高了动态帧时隙 ALOHA 算法的识别效率,有效提高了 RFID 系统的信道资源利用率。

参考文献

- [1] 戚湧,胡军,李千目. 面向 RFID 数据处理的复杂事件模式匹配方法[J]. 计算机科学,2013,40(1):73-76
- [2] 杨衡亮. 基于 RFID 的监狱犯人智能定位管理系统设计[J]. 计算机科学,2013,40(11A):383-384
- [3] 昌晶,祝诗平,唐超,等. 基于 RFID 与 GPS 技术的配网巡检仪开发[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2013,38(6):141-144
- [4] Chen Y H, Horng S J, Run R S, et al. A novel anti-collision algorithm in RFID Systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2010, 6(1):105-121
- [5] Choi J H, Lee D, Lee H. Query tree-based reservation for efficient RFID tag anti-collision [J]. IEEE Communications Letters, 2007, 11(1):85-87
- [6] Mala H, Dakhilalian M, Shakiba M. Cryptanalysis of mCrypton - A lightweight block cipher for security of RFID tags and sensors [J]. International Journal of Communication Systems, 2012, 25(4):415-426
- [7] Namboodiri V, Gao L. Energy-aware tag anti-collision protocols for RFID systems [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(1):44-59
- [8] 陈祖爵,秦栋,王洪金. 改进型帧时隙 ALOHA 防碰撞算法研究[J]. 无线电通信技术,2008,34(3):50-54
- [9] Liu T, Moore A W, Gray A, et al. An investigation of practical approximate nearest neighbor algorithms [M]// Advances in Neural Information Processing Systems, 2005:825-832
- [10] Li Z, Gong W, Nee A Y C, Ong S K. Region-restricted rapid key-point registration [J]. Optics Express, 2009, 17(24):22096-22101
- [11] Beis J S, Lowe D G. Shape indexing using approximate nearest-neighbour search in high-dimensional spaces [C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1997:1000-1006
- [12] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110
- [13] Gionis A, Indyk P, Motwani R. Similarity search in high dimensions via Hashing [C]// Proceedings of 25th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB), 1999:518-529
- [14] Ross B C. An analysis of SIFT object recognition with an emphasis on landmark detection [D]. MIT Master Thesis, 2004
- [15] Ciaccia P, Patella M, Zezula P. M-tree: An efficient access method for similarity search in metric spaces [C]// Proceedings of the 23rd VLDB International Conference, 1997
- [16] Shadman Z, Kampermann H, Macchiavello C, et al. Optimal super dense coding over noisy quantum channels[J]. New Journal of Physics, 2010, 12(7):1-20
- [17] 王栋,叶柳. 基于最大和非最大纠缠信道一类三量子比特 W 态的远程制备方案[J]. 量子电子学报, 2012, 29(3):330-338
- [18] 黄泽霞,黄德才,俞攸红. 动态控制场下一种改进的量子最优控制[J]. 计算机科学, 2013, 40(1):233-261

(上接第 56 页)

- [14] Huang Y B, Li S S, Nie Y Y. Controlled dense coding between multi-parties[J]. International Journal of Theoretical Physics, 2009, 48(10):95-100
- [15] Xia Y, Song H S. Controlled quantum secure direct communication using a non-symmetric quantum channel with quantum super dense coding[J]. Physics Letters A, 2007, 364(2):117-122