

智能制造中 RFID 多标签快速识别问题的研究

王涛, 王琪, 张如伟, 马义飞, 裴翦

(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

摘要: 工业现场多标签的快速识别问题一直是 RFID 技术实用领域亟待解决的问题; 在分析现有的各种 RFID 防碰撞算法特点的基础上, 提出了一种适用于多标签快速识别的改进型算法; 该算法在正式进行标签识别前先统计标签 ID 中数字“1”的总位数, 并将该统计值作为分组编号对待识别标签进行分组识别, 有效地减少了标签数据碰撞发生的可能性; 此外, 该算法中新的查询前缀是根据首位碰撞位生成, 有效避免了空搜索的存在, 一定程度上减少了系统识别效率受标签 ID 长度的影响; 最后, 该算法中只将标签 ID 中与搜索前缀相匹配之后的数据返回给阅读器, 有效减少了系统通信量; 仿真结果表明, 该算法性能稳定, 吞吐率可达 65%, 可以有效应用在工业现场, 实现多标签的快速读取。

关键词: RFID 防碰撞; 查询树算法; 搜索前缀; 首位碰撞位

Research on Fast Recognition of RFID Multi-label in Intelligent Manufacturing

Wang Tao, Wang Qi, Zhang Ruwei, Ma Yifei, Pei Jian

(Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: The problem of fast identification of industrial multi-label has always been an urgent problem in the practical field of RFID technology. On the basis of analyzing the characteristics of existing anti-collision algorithms of RFID, this paper presents an improved algorithm for fast multi-label recognition. The algorithm counts the total number of digits "1" in the label ID before formally recognizing the label, and treats the statistical value as a group number to identify the identification tag, which effectively reduces the possibility of tag data collision. In addition, the new query prefix in the algorithm is generated according to the first collision bit, which effectively avoids the existence of empty search and reduces the system recognition efficiency affected by the label ID length to some extent. Finally, the algorithm only returns the data from the tag ID matching with the search prefix to the reader, which effectively reduces the system traffic. The simulation results show that the algorithm is stable in performance and has a throughput of 65%. The algorithm can be used in industrial field effectively and realize fast reading of multiple tags.

Keywords: RFID collision prevention; query tree algorithm; search prefix; first collision bit

0 引言

所谓 RFID, 指的是无线射频识别技术 (Radio Frequency Identification), 它通过无线电信号识别特定的目标对象, 无需识别系统与目标对象之间有接触, 即可实现两者的双向数据通信。与以往应用在工业现场的条形码识别技术相比, RFID 技术不受应答对象尺寸大小和形状限制, 不易被污染, 适应恶劣环境的能力更强, 已逐步成为工程机械智能制造领域的核心推动力^[1]。

工程机械生产线依托 RFID 系统, 能够自动且准确地获取生产过程中有关“工序、工件、工人”的信息, 实现全过程溯源, 提高生产安全和质量。目前, 影响工业现场 RFID 技术应用效果的主要问题就是多标签快速识别问题,

该问题直接影响着 RFID 系统的工作效率, 进而影响整个智能制造生产线的工程进度。

现有的 RFID 防碰撞算法主要分为 ALOHA 算法和树形算法两类。其中 ALOHA 算法原理简单, 容易实现, 特别是其中一种动态帧时隙 ALOHA 算法已经具备比较高的吞吐率, 但这种算法具有不可避免的随机性, 存在标签饥饿现象, 即总会有少量标签不能被识别^[2]。这在准确性和安全性要求高的工业现场是不被允许的, 因此 ALOHA 算法仅适用于待识别标签数目较少的情景。二进制树算法不存在随机性, 解决了标签饥饿问题, 但这却以系统的复杂度为代价, 对系统识别总时长有显著影响, 这就不符合工业现场高实时性的特点。因此二进制树类算法仅适用于待识别标签数目较多, 且对识别时间要求不高的情景。查询树算法解决了标签饥饿问题的同时, 系统复杂度也不高, 但系统识别效率受标签 ID 的长度影响较为严重, 可见该类算法灵活性较低, 仅适用于待识别标签 ID 长度较短的情景^[3]。

ALOHA 算法和树形算法都不可避免空时隙或空搜索的存在, 造成资源浪费的同时, 算法的性能和识别效率都

收稿日期: 2018-10-10; 修回日期: 2018-11-06。

基金项目: 山东省重点研发计划 (2016ZDJS02A12, 2018GGX103042, 2017CXGC0603, 2018YFJH0306, 2017CXGC0918, 2017CXGC1505)。

作者简介: 王涛 (1967-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事智能机器人技术、自动化装置的集成化与智能化等方向的研究。

受到很大的影响。这两类算法都无法在短时间内完成大量标签的识别，不能满足工业现场的生产要求。针对上述问题，本文提出一种更具灵活性的改进型算法，该算法建立在查询树算法的基础上，保留了查询树算法的优点的同时，对查询树算法的缺点进行了针对性改进，能够实现多标签快速识别，可运用于工程机械智能制造生产线中。

本文提出的新算法对 RFID 系统的软硬件没有特殊要求，尤其是不需要电子标签具有历史记录功能，只需要与阅读器传来的查询前缀进行对比，然后判断是否响应该命令即可。

1 曼彻斯特编码方式简述

本文提出的新算法中标签 ID 采用曼彻斯特编码 (ManchesterEncoding) 方式编码，也叫做相位编码方式，它是一种同步时钟编码方式。该编码方式能在两个或多个标签同时响应阅读器的命令时，精确地识别出发生碰撞的数据的比特位，从而采取相应措施使发生碰撞的标签能被识别。

曼彻斯特编码方式采用半个周期的电平正负跳变来表示 1 和 0，约定由高电平到低电平的跳变为 1，由低电平到高电平跳变为 0^[4]。若同时响应的两个或多个标签的编号中有某一位数据是不同值，则阅读器接收到的上升沿和下降沿之间会相互抵消，呈现没有电平跳变的状态，这是不被允许的，此时阅读器就可以判定这些数据位之间发生了碰撞，如图 1 所示。

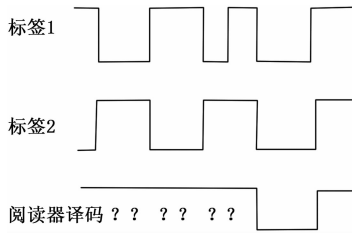


图 1 曼彻斯特编码示意图

2 改进型算法过程描述

本文提出的新算法延续了查询树算法的优点，此外，针对查询树算法存在的识别效率受标签编号长度影响的问题进行了改进。即当多个标签发生碰撞时，根据首位碰撞位生成两个新的搜索前缀，而不是机械的在之前的搜索前缀后添加 1 或 0。

该算法中，阅读器自身带有查询前缀栈 prefix、数据储存栈 string 和分组编号栈 group；标签带有寄存器 count。

2.1 待识别标签分组

本算法主要是实现短时间内大量标签的识别，故为减少标签碰撞发生的可能性，提高系统的识别效率，阅读器将标签 ID 中数值 1 的总位数作为分组编号，对场内所有待识别标签进行分组识别。

首先，阅读器发送数值 1 的总位数请求命令 Quest，场内所有标签接收到该命令后，统计自身 ID 中数值 1 的个数，将该统计值保存在标签的寄存器 count 中，并将该统计值编

码后发送给阅读器。

为提高数据传输的稳定性，在信道中传输分组编号时不采用传统的二进制编码，而是由标签生成一个比特串，该比特串中位序号与该统计值相同的二进制数位设置为 1，其余二进制数位设置为 0（若标签编码不包含 1，则返回全 0 比特串）。阅读器接收到该比特串后，还原为 1 的总位数，将其作为分组编号，压入分组编号栈 group 中。具体示例如表 1 所示。

表 1 统计值编码示例图

标签编号	寄存器 count	编码后比特串	标签分组
T1:10000110	3	00000100	T4:11010001
T2:10100000	2	00000010	T1:10000110
T3:00110100	3	00000100	T3:00110100
T4:11010001	4	00001000	T5:00110010
T5:00110010	3	00000100	T2:10100000
T6:10000100	2	00000010	T6:10000100

2.2 搜索前缀的生成

传统的查询树算法中，当标签发生数据碰撞时，阅读器直接在之前的搜索前缀后增加一位 1 或者 0，生成新的搜索前缀^[5]。这种做法不可避免空搜索的存在，降低了系统的识别效率，同时又使算法的效率很大程度上受标签 ID 长度的影响。

针对上述问题，本文提出算法中采取了一种更具灵活性的搜索前缀生成方式，即根据首位碰撞位 P 来生成两个搜索前缀，这就很好地解决了空搜索的问题，一定程度上减少了标签 ID 长度对系统效率的影响。此外，当前组的待识别标签与搜索前缀匹配成功后，只将自身 ID 中与搜索前缀相匹配之后的数据发送给阅读器，这就减少了标签与阅读器间的数据通信量，进一步优化了算法的性能^[6]。

本算法中生成搜索前缀时应考虑当前组标签进行首轮识别和非首轮识别两种情况^[7]。

当前组进行首轮识别时，阅读器的搜索前缀栈中只有空字符串。阅读器接收标签的返回信号，若检测到未发生碰撞，则进入下一组标签的识别；若检测到发生碰撞，则根据首位碰撞位 P 生成两个新搜索前缀，两个新搜索前缀由标签 ID 中首位碰撞位 P 之前的部分与首位碰撞位 P 组成，且 P 分别赋值为 0 或 1，阅读器将两个新搜索前缀压入查询前缀栈 prefix 中，开启下一轮搜索^[8]。

当前组进行非首轮识别时，此时搜索前缀栈中定有非空字符串，设栈顶字符串为 M。阅读器发送搜索前缀 M 给当前组标签，标签将自身编号中与搜索前缀 M 匹配成功之后的字符串发送给阅读器。阅读器接收到字符串后，若检测到没有发生碰撞，则成功识别一个标签，且该标签的 ID 编号由搜索前缀 M 与收到的字符串连接组成；若检测到发生碰撞，则根据首位碰撞位 P 生成两个全新的搜索前缀 M1 和 M2，这两个新搜索前缀由之前的搜索前缀 M 与接收到的字符串中首位碰撞位 P 之前的部分以及首位碰撞位 P 连

接而成, 且首位碰撞位 P 分别赋值 0 和 1。阅读器将两个全新的搜索前缀压入查询前缀栈 prefix 中, 开启新一轮搜索。

2.3 改进型算法步骤介绍

分组完成后, RFID 系统正式进入标签识别环节。阅读器从分组编号栈 group 中取出栈顶元素 N1, 从查询前缀栈 prefix 中取出栈顶元素 M, 向场内待识别标签发送命令 (N1, M)。场内所有待识别标签接收到该命令后, 寄存器 count 中分组编号值与 N1 相同的标签被选中为当前组标签。该组标签中与参数 M 相匹配的标签响应该命令, 发送自身 ID 编号给阅读器。若此时搜索前缀 M 为空字符串, 当前组所有标签都会响应该命令。

阅读器收到返回的 ID 编号后, 检测是否发生数据碰撞, 如果没有发生碰撞, 则成功识别一个标签, 阅读器从查询前缀栈中取出栈顶元素, 进行下一轮识别; 如果发生碰撞, 则根据首位碰撞位 P 生成两个新的搜索前缀 M1 和 M2, 阅读器将两个新的搜索前缀依次压入查询前缀栈 prefix 中。重复上述过程直到查询前缀栈为空, 就可以结束当前组的识别, 之后阅读器从分组编号栈 group 中取出栈顶元素 N2, 开启下一组的识别, 直到 group 为空, 则没有待识别标签, 结束识别过程。以表 2 中 6 个标签为例, 本文提出的改进型算法的查询树如图 2 所示。

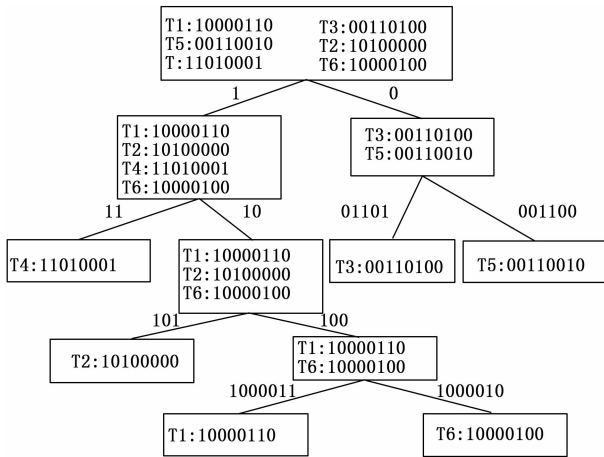


图 2 改进型算法查询树示例图

由图 2 可以看出, 本文提出的新算法可以根据首位碰撞位生成两个新的搜索前缀, 相比传统查询树算法在之前的搜索前缀后直接添加 1 或 0 的做法, 有效解决了空搜索的问题, 提高了 RFID 系统的识别效率, 且系统效率受标签 ID 长度的影响程度有所降低。

2.4 RFID 防碰撞系统结构综述

本设计中, RFID 防碰撞系统硬件部分主要分为电子标签和阅读器^[9]。根据前文的算法介绍, 本设计中阅读器硬件系统可以分为分组模块和识别模块两大部分。阅读器硬件系统结构图如图 3 所示。

由图 3 可知, 分组模块主要包含请求模块、接收模块和确定模块。其中, 请求模块负责向场内待识别标签发送数值 1 的总位数的请求命令; 接收模块负责接收标签返回

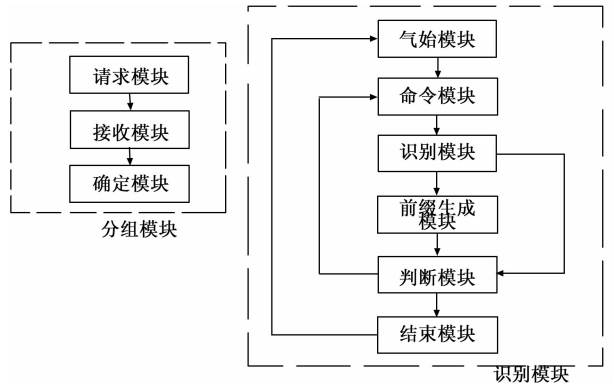


图 3 阅读器硬件系统结构图

的数值 1 的统计值的比特串, 将其还原回数值 1 的总位数, 并将其储存到阅读器的分组编号栈 group 中; 确定模块负责将分组编号相同的标签编为一组。

识别模块主要包括起始模块、命令模块、识别模块、前缀生成模块、判断模块和结束模块。其中, 起始模块负责从分组编号栈 group 中取出栈顶元素 N1; 命令模块负责从查询前缀栈 prefix 中取出栈顶元素 M, 并向场内待识别标签发送命令 (N1, M); 识别模块负责接收响应 (N1, M) 命令的标签的 ID, 并检测是否发生碰撞; 前缀生成模块负责根据首位碰撞位生成两个全新的搜索前缀; 判断模块负责查看查询前缀栈 prefix 中是否有非空元素, 若是, 则进入命令模块, 若否, 则进入结束模块; 结束模块负责查看分组编号栈 group 是否有非空元素, 若是, 则进入起始模块, 若否, 则标签识别全部结束^[10]。

3 改进型算法仿真分析

本章利用 Matlab 软件对动态帧时隙 ALOHA 算法、二进制树算法、查询树算法以及本文提出的新算法的通信量和吞吐率进行试验仿真。

仿真实验中, 标签的数目的范围取 0~1000。为保证仿真实验结果的可靠性, 仿真进行了 100 次取其平均值, 结果如图 4 和图 5 所示。

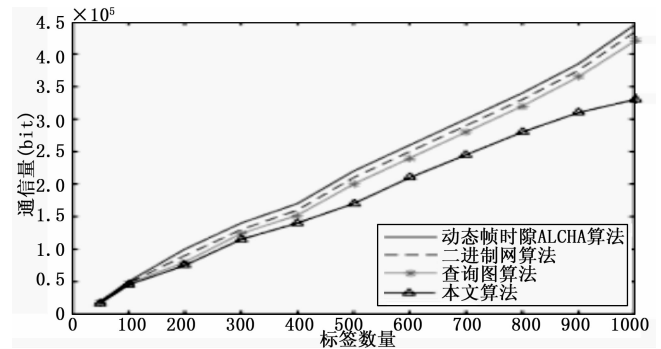


图 4 标签个数为不同值时系统通信量对比

从图 4 可以看出, 随着待识别标签数目的增加, 动态帧时隙 ALOHA 算法、二进制树算法和查询树算法这三种算法的系统通信量呈线性增长, 而本文提出的新算法的系统通信量则呈对数增长。其主要原因有两个, 一是本算法

中新的搜索前缀由碰撞位产生，直接减少了阅读器与标签的通信次数；二是标签 ID 编号与搜索前缀匹配成功后，只回传匹配成功之后的数据位，直接减少了系统通信量。

由此可见，本文提出的新算法的两点改进，有效减少了通信时间的同时，减少了系统通信量，这也是该算法能够有效减少标签识别总时长，实现多标签快速识别的关键因素。

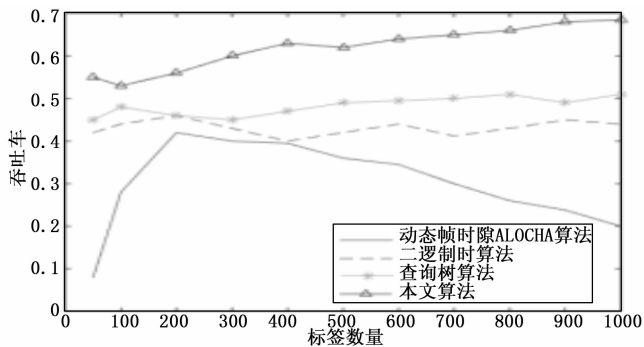


图 5 标签个数为不同值时系统的吞吐率对比

由图 5 可以看出，本文提出的新算法的系统吞吐率明显高于其他三种算法，且当待识别标签数目增多时，其他几种算法吞吐率波动较大，而本文提出的算法性能稳定，保持在 65% 左右。这主要是因为本文提出的新算法有效减少了系统识别总时长，从而显著提高了系统识别吞吐率。

由仿真试验的结果图可见，本文提出的算法能有效提高系统的识别效率，节约系统的通信量，相比与现存的其他几种算法，更适合用于短时间内大量标签的识别。

4 总结

本文提出了一种新算法来实现工业现场短时间内大量标签的快速识别。该算法延续了查询树算法的优点的同时，改进了查询树算法中易出现空搜索的缺点，使新的查询前缀根据碰撞位直接生成，生成的碰撞树为满二叉树，有效避免了电子标签与阅读器之间的无效通信。此外，匹配成功

(上接第 162 页)

4 结束语

C919 机载数据实时处理系统选择了 VXWORKS 操作系统，对原有工作数据预处理模式进行了改进，对算法流程进行了设计提升。网络数据实时接收处理能力从 55 MB/S 提升至 110 MB/S，实时处理参数个数增多至过万，完善了关键参数快速分组处理功能，可保障多个科目预处理结果输出。该系统已成功保障 C919 飞机上海首飞工作，可供后续大飞机试飞机载数据实时处理系统搭建借鉴。未来该系统研究重点将放在数据预处理能力的进一步提升，以满足未来超大量数据处理需求。

参考文献:

[1] 杨廷梧. 航空飞行试验遥测理论与方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2017.
 [2] 程佩青. 数字信号处理教程 [M]. 北京: 清华大学出版

的标签响应命令时，只回传自身 ID 中与搜索前缀相匹配之后的数据，这就减少了标签与阅读器间的数据通信量，进一步优化了算法的性能。

该算法通过以上两点改进，有效减少了 RFID 系统识别总时长。此外，通过对待识别标签的分组从识别初始便减少了发生标签碰撞的可能性。仿真结果表明，本文提出的新算法吞吐率高达 65%，且当场内存有大量待识别标签时，通信量仅呈对数增长。可见该算法可有效运用于工程机械智能制造生产线中，实现短时间大量标签的识别。

参考文献:

[1] 陈超. RFID 中基于动态二进制的改进树型搜索算法及其实现 [J]. 网友世界, 2012 (5): 25-29.
 [2] 陈建哲. RFID 系统多标签防碰撞算法的研究 [D]. 广东工业大学, 2013.
 [3] 向垂益, 何怡刚, 李兵, 等. 动态二进制树搜索算法的改进 [J]. 计算机工程, 2010, 36 (2): 260-262.
 [4] 贾小林, 冯全源. 一种 RFID 多标签识别防碰撞方法: CN104517087A [P]. 2015.
 [5] 于佳, 肖丽萍. 基于 ALOHA 算法的 RFID 防碰撞技术研究 [J]. 电子技术, 2009, 36 (8): 43-45.
 [6] 黄智伟. 射频集成电路芯片原理与应用电路设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
 [7] 吕敬祥, 曾小荃, 杨建平. 一种基于自适应前缀查询树的 RFID 防碰撞算法 [J]. 制造业自动化, 2013, 35 (6): 1-4.
 [8] 南敬昌, 单晓艳, 高明明. RFID 系统中改进的混合查询树防碰撞算法 [J]. 计算机工程, 2012, 38 (23): 291-292.
 [9] 单承赣, 余春梅, 王聪聪. 改进的二进制查询树的 RFID 标签防碰撞算法 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2008, 31 (11): 1801-1804.
 [10] 史露强, 何怡刚, 罗旗舞, 等. 改进的混合查询树 RFID 防碰撞算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31 (8): 1281-1288.
 [1] 袁炳南, 张建琳. PCM 与网络数据采集系统技术分析 [J]. 测控技术, 2009, 28 (4): 29-31.
 [2] 段宝元, 穆永花, 穆永河. 以太网在新支线飞机试飞测试中的应用 [J]. 测控技术, 2011 (30): 91-93.
 [3] Lyons R G. Understanding digital signal processing [M]. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2004.
 [4] Stevens W R. UNIX 网络编程: 套接口 API [M]. 杨继张, 译. 北京: 清华大学出版社, 2006.
 [5] Richter J. Windows NT 高级编程技术 [M]. 郑全战, 等译. 北京: 清华大学出版社, 1995.
 [6] 王恩东, 倪璠, 陈继承, 等. 一种面向实时系统的程序基本块指令预取技术 [J]. 软件学报, 2016 (9).
 [7] 董艳雪, 韩卫光. 基于多核 ARM 的 Linux 操作系统的实时性研究 [J]. 小型微型计算机系统, 2017 (6).
 [8] 王宽卿. 微内核进程间通信的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.