

基于改进 ALOHA 算法的 RFID 标签防碰撞研究

王冬云^{1,2}, 张维平¹, 汪志佳¹

(1.秦皇岛职业技术学院, 河北 秦皇岛 066100;

2.燕山大学 国家冷轧板带装备及工艺工程技术研究中心, 河北 秦皇岛 066100)

摘要: **目的** 为提高射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)标签识别成功率, 以及包装生产线自动分拣效率、智能化水平。**方法** 以包装生产线检测系统为研究对象, 结合 RFID 技术设计一种自动包装、检测、配送系统。介绍 RFID 检测系统, 主要包括标签、阅读器、天线和控制系统。针对 RFID 识别过程中标签碰撞问题, 提出一种改进 ALOHA 算法, 采用动态预测权值估计标签数目使标签数目与数据帧长度大致相等。通过实验验证 ALOHA 算法的有效性。**结果** 实验结果表明, 碰撞比率平均值只有 1.1%, 整个系统的检测成功率可以达到 99.6%; 所述改进 ALOHA 算法可以有效避免标签碰撞。**结论** 该系统能够自动完成检验, 并且用时较少, 检验过程中正确率较高, 具有较高的市场应用价值。

关键词: 射频识别技术; 包装生产线; 标签碰撞; 动态预测

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)17-0244-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.17.033

RFID Tag Anti-collision Based on Improved ALOHA Algorithm

WANG Dong-yun^{1,2}, ZHANG Wei-ping¹, WANG Zhi-jia¹

(1.Qinhuangdao Vocational and Technical College, Qinhuangdao 066100, China; 2.National Engineering Research Center for Equipment and Technology of Cold Strip Rolling, Yanshan University, Qinhuangdao 066100, China)

ABSTRACT: In order to improve the success rate of Radio Frequency Identification (RFID) tag identification, automatic sorting efficiency and intelligent level of packaging production line, an automatic packaging, detection and distribution system is designed by combining RFID technology with the detection system of packaging production line as the research object. The RFID detection system is introduced, including tag, reader, antenna and control system. To solve the problem of tag collision in RFID identification, an improved ALOHA algorithm is proposed and the dynamic predictive weight is used to estimate the number of tags so that the number of tags is approximately equal to the length of the data frames. The validity of ALOHA algorithm is verified by experiments. Experimental results show that the average collision rate is only 1.1%, and the success rate of the whole system can reach 99.6%. The improved ALOHA algorithm can effectively avoid tag collision. The system can complete the inspection automatically with less time and higher accuracy. The designed inspection system can improve the inspection efficiency of packaging production line and has high market application value.

KEY WORDS: RFID; packaging production line; tag collision; dynamic prediction

收稿日期: 2021-01-27

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(F2019203505)

作者简介: 王冬云(1980—), 女, 博士, 秦皇岛职业技术学院副教授, 主要研究方向为机电设备自动化控制方案设计、故障诊断等。

射频识别技术（Radio Frequency Identification, RFID）是一种自动识别技术，利用无线射频方式实现非接触双向数据通信，被认为是 21 世纪最具发展潜力的信息技术之一^[1]。当前，RFID 技术已在商品分类、出入库管理、物流管理、质量追溯等众多应用场景体现出了巨大的技术优势，在智能包装、智慧物流等领域具有十分广阔的应用前景^[2-5]。产品包装表面的 RFID 标签可以较方便地利用信息感知实现产品统计，无需人工逐个扫描，既节省人力物力，又可以提高生产效率。此外，RFID 标签还可以通过编程存储更多的信息，例如生产日期、序列号、产品规格、物流链信息等^[6-7]。由于实际工业现场的流动性比较强、作业量非常大，因此在一定识别范围内，往往会出现多个标签同时向同一阅读器发送信息的情形，即标签碰撞。“碰撞现象”会造成数据信息相互干扰，标签数据无法被正确读取。比较常用的 RFID 标签防碰撞算法主要有：帧时隙 ALOHA 算法，能够提高系统的识别效率，但是其随机性较大会导致标签饥饿问题；二进制搜索算法，可以解决标签饥饿问题，但是系统复杂、造价高，并不适合对实时性要求较高的场合^[8-9]。

参考现有研究和所存在的问题，文中着重解决包装生产线标签识别过程中的碰撞问题，引入一种改进 ALOHA 算法并通过实验验证所述方法的有效性。

1 RFID 技术及其应用

包装生产线所采用的 RFID 射频系统大多基于无线电空间耦合技术，通过读取标签信息实现生产线中包装产品的实时检测。一般情况下，每个包装箱表面或内部都会粘贴标签，利用 RFID 阅读器扫描标签并将信息传递给上位机。上位机会调用数据库信息并进行比对，如果信息一致则认为当前包装成品合格；否则，会将当前包装成品信息移植到剔除数据库，便于剔除工序正常执行。

通常情况下，一套完整的 RFID 系统主要包括：标签，即应答器，其由微芯片和耦合元件组成且编码信息具有唯一性，附着在包装箱表面用于承载信息；阅读器，其由收发模块、耦合模块、控制模块组成，可以读取标签信息或写标签；天线，实现标签和阅读器之间射频信号传输；控制系统，采集阅读器读取的信息，可存储、对比、移植相关信息。文中所述基于 RFID 的生产线检测系统结构见图 1，其中 RFID 读写模块负责产品标签识别；通信模块负责阅读器和 PC 机之间数据交换；PC 机负责后台数据处理以及人机交互等。

2 改进 ALOHA 算法

如前文所述，包装生产线需要进行统计、入库、出库等操作，执行这些操作均要依赖包装箱表面的 RFID 标签，因此 RFID 标签识别就显得十分重要。在标签识别过程中，难免出现漏检、误检等问题，主要原因在于标签碰撞^[10]。为解决此问题，文中提出了一种改进 ALOHA 算法，以提高 RFID 标签识别效率和正确率。

2.1 算法分析

根据 RFID 系统特性，逐渐发展起一种算法体系，即 ALOHA 算法。实质上，该算法就是划分标签应答时间，一旦标签进去阅读区域，需在不同时间响应阅读器的命令。当标签比较多时，有可能多个标签同时响应阅读器命令，因此会出现标签碰撞。“碰撞”现象会造成标签失读，这些标签会进入待命状态，随机等待一定时间后重新发送应答信号^[11-12]。为尽量避免标签碰撞、提高标签识别率，可考虑采用帧时隙 ALOHA，其基本思想就是将数据帧分成若干个离散帧时隙，标签可随机选择一个时隙来响应阅读器命令，以数据帧为周期进行数据交换；如果某个时隙只被一个标签选中，那么此标签可被成功识别；如果某个时隙被多个标签选中，就会出现“标签碰撞”现

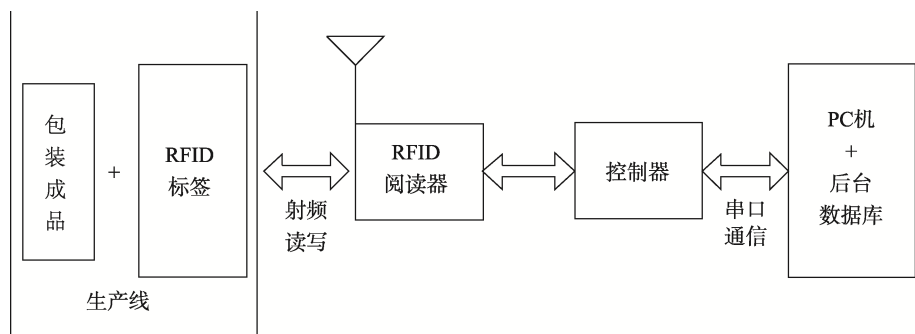


图 1 基于 RFID 的生产线检测系统结构
Fig.1 Structure of production line detection system based on RFID

象,失读标签需要在下一帧重新选择时隙发送应答信息;如此循环往复,直至所有标签都被识别^[13-15]。

定义数据帧时隙数目为 N ,待识别标签数目为 n ,那么某一时隙被 r 个标签同时选中的概率可表示为:

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

根据式(1)可以得到标签被成功读取的概率:

$$P(x=1) = C_n^1 \left(\frac{1}{N}\right) \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (2)$$

那么单个数据帧内能够成功读取标签的时隙数目可表示为:

$$a_1 = N \cdot P(x=1) = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (3)$$

此时系统的吞吐率可描述为:

$$P_n = \frac{a_1}{N} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (4)$$

对式(4)求导并令其为0,即:

$$\frac{dP_n}{dn} = 0 \quad (5)$$

那么则有:

$$n = \frac{1}{\ln\left(1 - \frac{1}{N}\right)} \quad (6)$$

通过变换可以得到式(6)的另外一种形式,即:

$$N = \frac{e^{1/n}}{e^{1/n} - 1} \quad (7)$$

假设 n 比较大,对式(6)做泰勒级数展开,即:

$$N = \frac{1 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{1}{n} - 1} = n + 1 \quad (8)$$

综上所述,数据帧长度和标签数目大体一致时,系统性能才能达到最优。如果标签数目远小于数据帧长度时,会造成时隙浪费;如果标签数目远大于数据帧长度,会大面积引发“标签碰撞”,因此,如何使阅读器能够根据标签数量实时调整数据帧长度是提高 RFID 识别系统稳定性的关键。为此,文中提出了一种标签数据估计算法,下面将着重论述。

2.2 标签数目估计

如上所述,文中定义成功时隙数为 T_g 、空闲时隙数为 T_i 和碰撞时隙数为 T_c 。经 n 轮识别后,可认为碰撞时隙数和待识别标签总数之间呈线性关系,那么标签数目预测公式可表示为:

$$m_{p(n+1)} = \xi \cdot T_{e(n)} \quad (9)$$

当第 $(n+1)$ 轮标签预测开始后,可采用 DFSAC-II 计算待估标签数,并调整式(9)所示预测结果,即:

$$m_{a(n+1)} = 2.3922 \times T_{e(n+1)} \quad (10)$$

那么理论误差值可用预测结果和调整结果之差表示:

$$\varepsilon = m_{p(n+1)} - m_{a(n+1)} = \xi T_{e(n)} - 2.3922 T_{e(n+1)} \quad (11)$$

为求取最小误差,文中先计算理论误差的平方值,然后对 ξ 求导,那么则有:

$$\partial \frac{\varepsilon^2}{\partial \xi} = 2 \left[\xi T_{e(n)} - 2.3922 T_{e(n+1)} \right] \cdot T_{e(n)} \quad (12)$$

可令式(12)等于0,此时标签数目的动态预测权值可表示为:

$$\xi = \frac{2.3922 T_{e(n+1)}}{T_{e(n)}} \quad (13)$$

在实际操作过程中,很难提前预知下一轮碰撞时隙数,所以需要对式(13)进行调整。文中采用上轮时隙数和此轮时隙数来表示动态预测权值,即:

$$\xi = \frac{2.3922 T_{e(n)}}{T_{e(n-1)}} \quad (14)$$

结合式(9)和式(14)可得下一轮标签预测数目,即:

$$m = \frac{2.3922 \left(T_{e(n)}\right)^2}{T_{e(n-1)}} \quad (15)$$

3 实验研究

为验证所述方法的可行性和有效性,文中进行了相关实验研究。以某企业包装生产线为实验平台,该平台具体规格:包装箱尺寸约为 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$;在贴标机工位打上 RFID 标签;为模拟多标签检测过程,实验中会在一个包装箱上贴上很多标签;设定标签数目为 200 个,电子标签和读写器之间距离约为 50 cm ,传送速度为 100 箱/min 。生产设备见图 2。

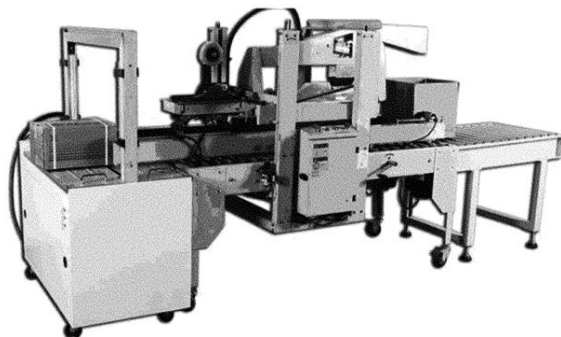


图 2 生产设备

Fig.2 Production equipment

文中进行 10 次实验,实验结果见表 1。由实验结果可以看出:改进前,碰撞比率平均值可以达到 21.7%;平均耗时为 0.92 s ;系统检测成功率只有 93.5%。改进后,碰撞比率平均值只有 1.1%;平均耗

表 1 实验结果
Tab.1 Experimental results

组别	改进前			改进后		
	碰撞次数	成功次数	平均用时/s	碰撞次数	成功次数	平均用时/s
1	45	185	0.91	2	199	0.23
2	40	189	0.88	3	199	0.25
3	42	187	0.85	1	200	0.30
4	43	185	0.92	3	198	0.29
5	46	185	0.95	2	199	0.31
6	45	186	0.88	1	200	0.30
7	44	188	0.96	1	200	0.29
8	47	186	0.98	2	199	0.31
9	42	189	0.95	3	198	0.23
10	40	190	0.88	3	199	0.25

时为 0.28 s；系统检测成功率可以达到 99.6%。对比结果表明：采用改进 ALOHA 算法可以有效解决“标签碰撞”问题，标签检测成功率明显提高，所述算法具有一定有效性。少数 RFID 标签出现读写误差和分拣误差，主要原因在于贴标位置不太理想，读写器未能正确读取标签信息；少数 RFID 标签出现冲突，主要原因在于包装箱传送速度过快，RFID 读写器在连续检测多个标签时漏掉极少一部分。后期可改进标签粘贴位置以进一步提高检测精度。

4 结语

文中重点研究 RFID 技术在包装生产线中的应用，RFID 技术有助于提高统计、入库、出库等操作自动化水平。采用改进 ALOHA 算法解决了多标签识别过程中出现的“标签碰撞”问题。具体实验结果表明，改进 ALOHA 算法具有较高的检测速度和精度，可满足 RFID 技术在包装生产线中的应用需求。文中没有论述贴标位置等因素对识别效果的影响，故下一步可从改进标签粘贴位置等方面入手，进一步提高系统检测精度。

参考文献：

[1] 刘一健, 陈业华. 基于 RFID 的生鲜农产品追溯系统探讨[J]. 食品工业, 2019, 40(7): 175—179.
LIU Yi-jian, CHEN Ye-hua. Fresh Agricultural Products Traceability System Based on RFID[J]. The Food Industry, 2019, 40(7): 175—179.

[2] 杨方, 胡方园, 景电涛, 等. 水产品活性包装和智能包装技术的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1): 6—12.

YANG Fang, HU Fang-yuan, JING Dian-tao, et al. Research Advance of Active Packaging and Intelligent Packaging Technologies for Aquatic Food Product[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(1): 6—12.

[3] 谢勇, 刘林, 王凯丽, 等. 包装用智能标签的应用及研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(19): 121—127.
XIE Yong, LIU Lin, WANG Kai-li, et al. Application and Research Progress of the Intelligent Label for Packaging[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(19): 121—127.

[4] 梁韵. 物联网技术背景下的智能包装设计趋势[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 143—146.
LIANG Yun. Intelligent Packaging Design Trend under the Background of IOT Technology[J]. Food & Machinery, 2019, 35(7): 143—146.

[5] CHANG L, WANG H, ZHANG Z, et al. A Dual-Environment Active RFID Tag Antenna Mountable on Metallic Objects[J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2016(15): 1759—1762.

[6] 焦亚冰. 基于 RFID 的产品信息追溯防伪策略[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 119—121.
JIAO Ya-bing. Security Policy of Product Information Retrospecting Based on RFID Technology[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 119—121.

[7] KOLARVSZKI P, KOLAROVSKÁ Z, PERAKOVIC D, et al. Laboratory Testing of Active and Passive UHF RFID Tags[J]. Transport & Telecommunication Journal, 2016, 17(2): 144—154.

[8] 贾瑞玉, 宋建林. 基于聚类中心优化的 k-means 最佳聚类数确定方法[J]. 微电子学与计算机, 2016, 33(5): 62—66.
JIA Rui-yu, SONG Jian-lin. K-means Optimal Clus-

- tering Number Determination Method Based on Clustering Center Optimization[J]. *Microelectronics & Computer*, 2016, 33(5): 62—66.
- [9] 何江萍, 马彦, 李强. 基于视觉特征的水果蔬菜自动分类方法[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 33(3): 115—120.
- HE Jiang-ping, MA Yan, LI Qiang. Fruit and Vegetable Automatic Classification Based on Appearance Feature[J]. *Journal of Chongqing Normal University(Natural Science)*, 2016, 33(3): 115—120.
- [10] 许守成, 胡静, 宋铁成. 动态 RFID 系统中基于 EDFSA 的一种改进防碰撞算法[J]. *信息化研究*, 2019, 45(2): 44—49.
- XU Shou-cheng, HU Jing, SONG Tie-cheng. An Improved Anti-collision Algorithm Based on EDFSA in Dynamic RFID System[J]. *Informatization Research*, 2019, 45(2): 44—49.
- [11] 王达, 李晓武. 动态 RFID 系统中一种准确标签估计的动态帧时隙 ALOHA 算法[J]. *铁道学报*, 2018, 40(7): 88—92.
- WANG Da, LI Xiao-wu. A Dynamic Frame Slotted ALOHA Algorithm with Accurate Tag Estimation in Mobile RFID Systems[J]. *Journal of the China Railway Society*, 2018, 40(7): 88—92.
- [12] 袁莉芬, 杜余庆, 何怡刚, 等. 可并行识别的分组动态帧时隙 ALOHA 标签防碰撞算法[J]. *电子与信息学报*, 2018, 40(4): 944—950.
- YUAN Li-fen, DU Yu-qing, HE Yi-gang, et al. Grouped Dynamic Frame Slotted ALOHA Tag Anti-Collision Algorithm Based on Parallelizable Identification[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2018, 40(4): 944—950.
- [13] 莫磊, 陈伟, 任菊. 位屏蔽多叉树搜索射频识别防碰撞算法[J]. *电子学报*, 2018, 46(5): 1200—1206.
- MO Lei, CHEN Wei, REN Ju. A RFID Anti-Collision Algorithm Based on Bit-Shield and Multi-Tree Search[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2018, 46(5): 1200—1206.
- [14] 张小红, 穆宇超. 盲分离的帧时隙超高频 RFID 系统防碰撞算法[J]. *计算机工程与科学*, 2015, 37(3): 559—565.
- ZHANG Xiao-hong, MU Yu-chao. Anti-Collision Algorithm for UHF RFID Systems Based on Blind Separation and Framed-Slot[J]. *Computer Engineering & Science*, 2015, 37(3): 559—565.
- [15] 苏健, 韩雨, 骆忠强, 等. 超高频 RFID 系统中一种可行的时间最优防碰撞算法[J]. *电子学报*, 2015, 43(8): 1651—1655.
- SU Jian, HAN Yu, LUO Zhong-qiang, et al. A Feasible Timeoptimal Anti-Collision Algorithm for UHF RFID Systems[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2015, 43(8): 1651—1655.