

# RFID 在茶叶物流追踪与追溯中的关键应用技术

钟聪儿<sup>1</sup>, 邱荣祖<sup>2</sup>

(1. 厦门城市职业学院, 厦门 361008; 2. 福建农林大学交通与土木工程学院, 福州 350002)

**摘要:** 利用 RFID 标签标识茶叶供应链全过程信息流以加强茶叶物流关键信息的追踪与追溯。基于 .NET 进行系统总体设计, 由业务层、中间件层、数据层和应用层构成系统架构; 设计符合茶叶物流特征的电子标签 EPC 编码, 基于 ASP+SQL Server 2008 构建系统数据库; 基于 MFC 编程进行时隙 ALOHA 算法与二进制搜索算法仿真。结果表明, 中间件的设计有效解决硬件不兼容、信息冗余等问题, 提高追溯系统的响应效率; 时隙 ALOHA 算法总体上具有更高的识别效率, 更适合应用于本系统。

**关键词:** RFID; 数据库; 中间件; 防碰撞算法

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-1039-06

## Application of RFID technology in tracking and tracing tea logistics

ZHONG Conger<sup>1</sup>, QIU Rongzu<sup>2</sup>

(1. Xiamen City University, Xiamen 361008;

2. School of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002)

**Abstract:** To enhance the efficiency of tracking and tracing key information of tea logistics, RFID tags were applied to identifying flow information in the tea supply chain. The system was designed based on .NET and its structure was composed of four layers, business layer, middleware layer, data layer and application layer. The electronic label EPC encoding was designed according to the characteristics of tea logistics and a database was built based on Sever ASP+SQL 2008. The simulations of Slotted-ALOHA protocol and Binary-tree search protocol were carried out based on MFC programming. The results proved that: the design of middleware can not only effectively solve such problems as hardware incompatibility and information redundancy, but also improve the response efficiency of the tracing system. Slotted-ALOHA protocol has a high recognition efficiency, which is more suitable for the system.

**Key words:** RFID(radio frequency identification devices); database; middleware; anti-collision algorithm

随着人们生活质量和消费水平的提高, 茶叶正逐渐由享受型消费类型向生活必要型消费类型转变, 促使茶叶需求不断增长。据实地调研中发现, 近年来部分企业过于追求经济利益, 忽视产品质量安全, 在茶叶生产过程中滥用生长激素、化学农药和化肥, 生产加工呈机械化和批量化, 而管理技术却未能跟上生产技术的发展, 农产品检测部门监督力度低, 使得大量不合格茶叶进入市场, 严重威胁消费者的安全饮用。物流信息系统没有在茶叶供应链中实时动态更新物流日志, 会导致茶叶安全责任

无法溯源, 因此需要建立一个可靠的茶叶物流追溯系统, 覆盖生产、加工以及配送等供应链环节, 对于茶叶质量安全监管显得尤为重要。

国内针对农产品的信息追溯系统的开发还处于起步阶段, 传统的茶叶追溯系统基于条码技术进行开发, 而一维条码尺寸较大, 信息存储量小, 只能存储英文和数字信息, 缺乏容错能力, 且易因受污染、磨损而失效, 故不适宜在复杂的茶叶供应链安全管理过程中使用<sup>[1]</sup>; 在一维条码基础上发展的二维条码, 虽然数据储量增大且具备一定的纠错能力,

收稿日期: 2016-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201100), 福建省科技厅重点项目(K5314005A)和福建省中青年教育科研项目(JA15822)共同资助。

作者简介: 钟聪儿, 讲师。E-mail: 181323220@qq.com

但二维码识别对光照环境要求较高,易受光照、雾气等自然环境影响,且二维码识别需要人工近距离操作,在茶叶供应链的每个环节中无法实时快速获取大批量茶叶的质量信息。无线射频识别技术(Radio Frequency Identification Devices),是近年来国际上迅速发展起来的一种非接触式自动识别技术<sup>[2]</sup>。相比于传统的条码技术,RFID电子标签信息存储量大,可重复读写数据,可在高温、多雾、高湿等恶劣的农业生产环境下工作,不受光照条件制约<sup>[3]</sup>,因而RFID技术更适合应用于茶叶物流追溯,RFID标签可以实现对茶叶供应链的每个生产环节进行有效标识,从而实现对茶叶的种植、加工、包装、贮藏、运输以及销售等环节的信息进行实时记录,当在某一环节出现质量问题,可以及时追溯,查明源头。RFID电子标签可以贯穿整个茶叶供应链,实现从“茶园”到“茶杯”的信息化管理<sup>[4]</sup>。

在茶叶物流追踪与追溯系统中引入射频识别技术,实现了精细化管理。通过该追溯系统,可以即时召回不合格茶叶,且同时追溯查明不合格茶叶的

问题源头,满足现代茶叶物流“小批量、多品种”的流通模式的管理需要,对茶文化和茶叶经济的可持续发展具有实际意义。

## 1 系统总体设计

系统依靠RFID技术将茶叶供应链中的各个生产环节进行有机串联,以Web技术和通讯技术为支撑,在.NET开发平台上调用SQL Sever 2008建立追溯管理系统,实现茶叶供应链中物流与信息流的同步对接<sup>[5]</sup>。系统总体架构如图1所示,系统由业务层、中间件层、数据层和应用层4个部分组成。业务层包括种植、加工、包装、贮藏、运输和销售6个子系统;中间件层作为业务层与数据层之间的信息传输桥梁,解决硬件不兼容、数据信息冗余以及RFID标签识别率优化等问题;数据层通过电子标签EPC编码实现各数据库的关联,存储管理系统数据;应用层提供了供生产者、监管者和消费者等查询茶叶供应链信息的手机APP客户端和B/S客户端。

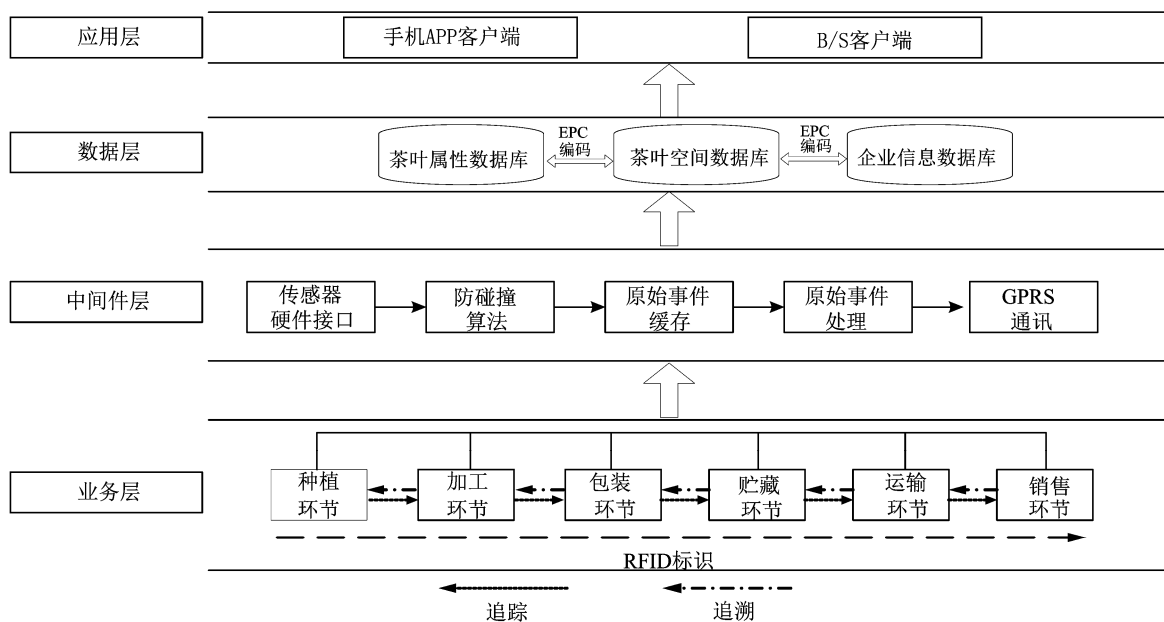


图1 系统总体架构

Figure 1 System framework

## 2 系统数据库设计

良好的追溯系统离不开高质量数据库的设计,通过数据采集、数据筛选和数据整编,系统利用RFID标签标识供应链信息流,因而EPC编码设计是数据库建立的基础和关键环节,是实现高效及时地信息追踪与追溯的技术保障。

### 2.1 电子标签EPC编码设计

EPC编码体系是与GTIN兼容的新一代编码标准,是EPC系统的核心和关键,EPC编码保证对供应链各环节中目标对象的唯一标识,是实现供应链透明、可追踪和可追溯的基础<sup>[6]</sup>。EPC代码是由版本号加上域名管理者、对象分类号和序列号组成,在本设计系统中采用目前使用最为广泛的96位(二

进制) EPC 编码, 如图 2 所示。

X            XX...XXX            XX...XXX            XX...XXX  
 版本号(8 bits) 域名管理者(28 bits) 对象分类号(24 bits) 序列号(36 bits)

图 2 EPC 编码结构

Figure 2 EPC encoding structure diagram

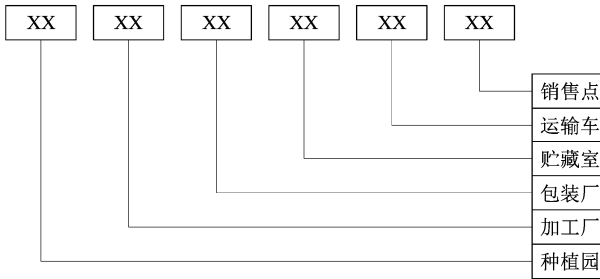


图 3 域名管理者码段分配

Figure 3 Assign code segment of domain name supervisor

版本号: 决定后 3 个字段的长度大小, 该追溯系统中版本号为 53, 表示选用 96 位 EPC 编码;

域名管理者: 描述与供应链中各环节相关的厂商信息, 每个供应链环节的域名必须唯一, 该追溯系统中的域名管理者代表茶叶供应链中各环节对应

的厂商信息, 如图 3 所示, 厂商的详细信息依靠 EPC 编码在数据库中查询。

对象分类号: 记录产品精确类型的信息, 如“武夷山九龙窠岩茶”。

序列号: 在对象分类号内的唯一标识, 该追溯系统采用“流水线号+日期+货号”的形式, 如“01160205213”表示第一条流水线 2016 年 2 月 5 日第 213 号产品。

### 2.2 数据库整体结构设计

利用 SQL 结构化查询语言实现数据的定义、查询、更新和删除等数据管理功能, 构建追溯管理系统数据库, 具体如图 4 所示。该追溯系统数据库由茶叶属性数据库、茶叶空间数据库以及企业信息数据库 3 个数据库组成, 通过电子标签 EPC 编码进行有机串联。其中, 茶叶属性数据库: 茶叶类型、茶园基地、肥料成分等; 茶叶空间数据库: 产品批号、运输起止地点信息和运输车车牌号等<sup>[7]</sup>; 企业信息库: 加工包装厂信息、贮藏室环境信息和销售点信息等; 在 Web 应用程序开发中采用 ASP.net+SQL Sever 2008, 在 ASP.NET 框架中使用 ADO.NET 技术对数据库进行访问, 一旦发现茶叶有问题, 即可通过数据库系统查询溯源, 即时召回不合格茶叶。

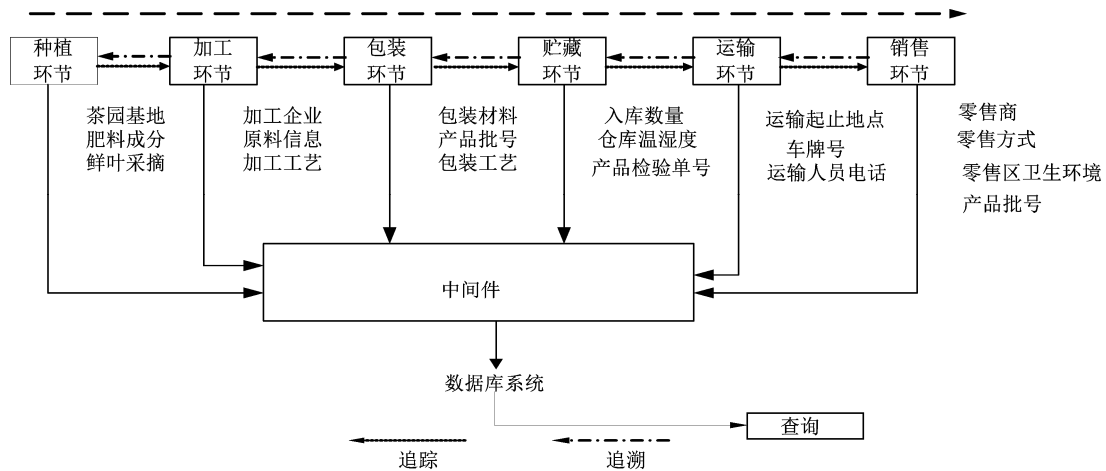


图 4 数据库查询系统设计

Figure 4 The design of database query system

## 3 RFID 中间件设计与实现

### 3.1 中间件系统架构建立

由于茶叶物流涉及到生产、加工以及流通等多个企业, 各环节使用的 RFID 读写器和电子标签型号多种多样, 数据结构差异大, 导致追溯系统各供应链环节之间的信息传递不流通, 追溯系统拓展性差<sup>[8]</sup>。中间件是感知层与应用层的中间桥梁, 利用

RFID 中间件能够有效解决硬件标准不统一、数据结构差异大以及由于多次重复扫描, 造成大量的信息冗余等问题, 提高了追溯系统的响应速率, 中间件架构如图 5 所示。

### 3.2 中间件功能分析

在本设计系统中, 中间件主要实现以下功能:

- (1) 通过内存数据库来缓存原始基础数据, 避免大量冗余数据对系统数据库的频繁操作而导致海量数

据在通讯模块中的来回传输；(2) 通过中间件中的事件过滤引擎净化数据，一方面在海量数据中充分提取有效信息上传应用层，减少通讯模块负载，另一方面避免标签意外携带病毒信息而导致系统数据库的破坏；(3) 由事件描述、过滤、挖掘以及聚合构成复杂事件处理过程，实现用户对事件的自定义以及事件的优先级排序<sup>[9]</sup>。

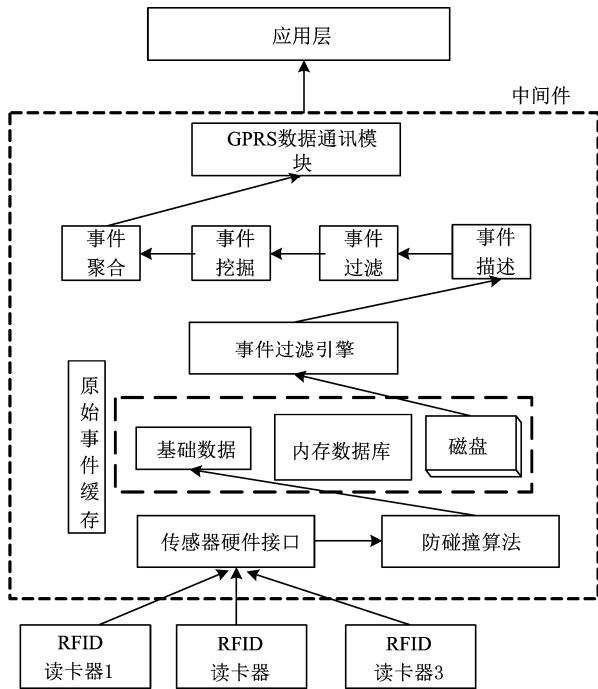


图 5 中间件系统架构

Figure 5 Middleware system architecture

### 3.3 RFID 中间件防碰撞算法原理及性能分析

#### 3.3.1 时隙 ALOHA 算法与二进制搜索算法分析

ALOHA 时隙算法与二进制树算法是 RFID 系统中中间件防碰撞技术中最为基本也最为经典的 2 种成熟的算法思想<sup>[10]</sup>。时隙 ALOHA 算法是一种不确定性的概率防冲突算法<sup>[11]</sup>，其时间复杂度具有随机性，但是和时隙数量的大小密切相关，标签数目一定，若时隙数目越多，则系统吞吐效率越高，碰撞次数越少，反之，若时隙数目小，则系统吞吐效率极低，碰撞次数增多。二进制树算法主要是从算法时间性能与搜索次数来分析<sup>[12]</sup>。标签规模大小是二进制树算法搜索次数的决定性因素（标签数目规模决定了 SNR 序列号编码的长度大小），二进制搜索算法的时间复杂度与搜索次数均与标签规模密切相关。

**3.3.2 基于 MFC 编程的算法仿真** 算法编程使用的主要数据结构之一为队列。先定义一个 Linknode 类存放节点信息，该类包含节点的字符串数据和下一

节点的指针。在类中设置了构造函数，用来初始化对象。节点类定义如下代码所示：

```
class Linknode
{
public:
    string data; //字符串数据信息
    Linknode *link; //下一结点指针
    Linknode(Linknode *ptr=NULL){link=ptr;} //构造函数
    Linknode(string temp,Linknode *ptr=NULL)
    {data=temp; link=ptr;}
};
```

然后设计算法的队列类，包括对指针、相关数据以及成员函数的声明。成员函数对队列是否为空、出队、入队、获取队首元素等进行判断。

```
class Linked_queue
{
public:
    void make_empty(); //将队列置为空
    void en_queue(string ); //入队操作
    void de_queue(); //出队操作
    void output_queue(); //输出队列中的节点成
    int count_node(); //统计队列中节点数目
    string gethead_node(); //获取队首元素
    Linknode *front,*rear; //队列首尾指针
};
```

下面是算法实现中的几个主要功能函数：

①void find\_message\_xbit(vector<string> ch,char aa[ ],int b[ ],int bb[ ],int count);

用于生成碰撞初始消息，如 10x0x0x1，x 表示该位发生了碰撞，0、1 表示未发生碰撞。结果返回到指定的 aa 数组，从而确定下次读写器的 SNR 序列号与应答器自身的 SNR 序列号进行比较的有效判断位。

②bool compare(string ss,char ch[ ]);

用于判断 vector 中的数据同程序中生成的关键字是否相同；相同返回 TRUE；反之返回 FALSE；

③int set\_flag(string as,vector<string> ch);

通过判断应答器是否进入 Sleep 状态，从而设置相应的标志位，若应答器进入 Sleep 状态，则将标志位置为 1，反之，置为 0。

以 40 个标签 16 个时隙为例，程序系统运行界面如图 6 所示。

**3.3.3 防碰撞算法性能实验数据分析** 时隙数取 16，标签数取 20，在图 6 系统界面中运行 20 次，计算出 ALOHA 算法和二进制搜索算法各自的运行

时间、碰撞次数以及碰撞概率的平均值; 时隙数不变, 标签数分别改为 25、30、35、40、45 和 50, 重复上述步骤, 结果如表 1 所示。

分析表 1 数据发现: ALOHA 时隙算法与二进

制树算法的运行时间开销基本维持在 1:3 的比例, 二者的碰撞次数比基本维持在 1:2 的比例, 碰撞概率比基本维持在 1:2 的比例。

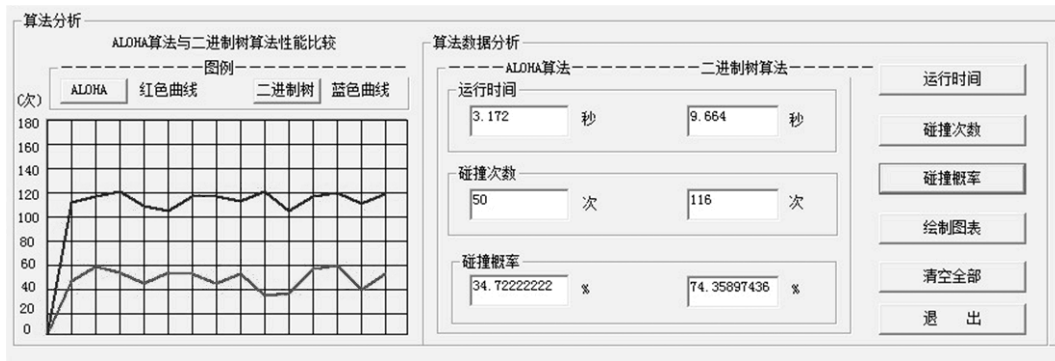


图 6 程序实际运行效果

Figure 6 Actual running effect of the program

表 1 时隙数为 16 的实验数据均值

Table 1 Experimental mean values when the time slot is 16

标签数量 Tag number	运行时间 Run time		碰撞次数 Collision times		碰撞概率 Collision probability	
	ALOHA	二进制	ALOHA	二进制	ALOHA	二进制
20	1.734	4.74	22	44	0.324	0.688
25	2.013	5.15	30	66	0.345	0.705
30	2.323	6.585	37	75	0.367	0.713
35	2.883	7.986	40	90	0.371	0.717
40	3.172	9.664	50	116	0.347	0.743
45	3.865	10.467	55	128	0.360	0.735
50	4.254	11.653	63	138	0.352	0.740

表 2 不同时隙数的实验数据均值

Table 2 Experimental mean values of different time slots

时隙数 Time slots	标签数量 Tag number	运行时间 Run time		碰撞次数 Collision times		碰撞概率 Collision probability	
		ALOHA	二进制	ALOHA	二进制	ALOHA	二进制
32	20	1.813	4.218	19	36	0.248	0.578
	30	2.245	5.346	13	23	0.289	0.652
	40	2.557	5.986	20	38	0.378	0.766
64	50	2.814	6.996	23	43	0.401	0.823
	40	2.561	7.831	27	50	0.263	0.543
	60	2.832	8.167	24	45	0.320	0.684
128	80	3.572	11.224	30	58	0.335	0.739
	100	4.018	13.597	38	70	0.382	0.784
	60	4.554	13.589	36	65	0.226	0.645
	90	4.932	14.002	45	105	0.302	0.583
	120	5.558	15.987	40	90	0.297	0.615
	150	6.035	19.116	43	96	0.389	0.795

为验证上述比例特征的可靠性, 分别对时隙数值为 32、64 和 128 等进行实验, 标签数取 20、30、

40、50、……, 部分结果如表 2 所示。大规模实验数据表明, 在一定条件下, ALOHA

时隙算法与二进制树算法的运行时间开销、碰撞次数以及碰撞概率确实呈现上述比例特征性质,且时隙 ALOHA 算法的运行效率能够达到较高水平,碰撞次数以及碰撞概率都处在低位,而二进制树算法运行效率降低,碰撞次数和碰撞概率都处在高位,且可以判断随着标签规模的扩大,标签序列号编码长度增加,算法搜索的复杂度也随之增加,严重降低了二进制搜索算法性能,使得算法在实践应用中难以推广。

经上述仿真验证,由于茶叶物流追踪与追溯系统对实时性、识别效率要求较高,可以通过多次反复扫描标签解决时隙 ALOHA 算法的不稳定性造成的漏扫问题,故茶叶物流追踪与追溯系统中的 RFID 中间件中的防碰撞算法选择时隙 ALOHA 算法较为合适。在 ALOHA 系列算法中动态帧时隙算法又优于固定帧时隙算法<sup>[13]</sup>,故在该系统中选用动态帧时隙算法。

#### 4 结论

茶叶物流追溯系统作为茶叶质量安全管理的有效手段之一,正受到农业领域中众多专家学者以及相关企业的广泛关注。由于 RFID 标签自身具备唯一编码、信息存储量大、无需人工干预的智能识别等众多优点,故本文引入 RFID 技术建立茶叶物流追踪与追溯系统,由数据层、业务层以及应用层组成系统 3 层架构。针对茶叶物流特征,对标签 EPC 编码和系统数据库进行了设计,通过设计中间件解决了硬件不兼容,以及由于为降低漏扫率而利用 RFID 设备进行多次重复扫描造成的系统信息冗余等问题,有效地减少茶叶各供应链节点应用 RFID 的投入和维护费用;并通过 MFC 仿真进行时隙 ALOHA 抗碰撞算法与二进制搜索算法对比,结果表明 2 种算法在时间开销、碰撞概率等方面存在特殊的比例关系,佐证了在该追溯系统中应用时隙 ALOHA 算法更有利于提高系统识别率和时效性。本文运用 RFID、SQL 等技术开发了茶叶物流追踪与追溯系统,茶叶相关监管部门、茶企业以及消费者可以通过该系统实现对包括种植、加工、包装、运输及销售等各供应链节点的茶叶信息的追踪与追溯<sup>[14]</sup>。该系统以福建省武夷山市上品岩茶厂为初步应用示范,效果良好,有助于提高了茶叶质量安全

监管,降低了不合格茶叶在市场上的流通。后续可进一步在该系统上进行 ALOHA 算法改良优化研究,或开展其他算法研究,以提高 RFID 系统识别率和时效性。本系统改良后可在烟草、林产品等物流安全追溯管理中实用,技术扩展性较好。

#### 参考文献:

- [1] 李敏波,金祖旭,陈晨. 射频识别在物品跟踪与追溯系统中的应用[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 202-208.
- [2] 唐任仲,胡罗克,周邦,等. 基于无线射频识别技术的车间在制品物流状态分析[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(1): 45-54.
- [3] FARRIS I, MILITANO L, IERA A, et al. Tag-based cooperative data gathering and energy recharging in wide area RFID sensor networks[J]. Ad Hoc Networks, 2016, 36: 214-228.
- [4] 梁雪萍,马存庆,梁颖升. 基于帧时隙 ALOHA 的 RFID 标签集合检测协议框架[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(3): 730-733.
- [5] 于文华,陈阳,王勇,等. 基于 GIS 的森林火灾自动定位系统设计与开发[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(3): 493-497.
- [6] LI M, LI H. Research on RFID Integration Middleware for Enterprise Information System[J]. Jsw, 2011, 6(2): 167-174.
- [7] 曾景峰,万梅芬. 物联网技术在农产品追溯中的应用[J]. 物流技术, 2014, 33(10): 449-450.
- [8] 林宇洪,陈清耀,胡喜生,等. 复合型 RFID 动物耳标及追踪系统的设计[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(4): 451-457.
- [9] 陈清耀,林敏敏,林宇洪,等. 林产品物流 RFID 手持机中间件的设计[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(2): 146-151.
- [10] 李宜章,戴学丰,刘树东. RFID 二进制搜索算法的改进及其防碰撞实现[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2009, 25(1): 26-29.
- [11] 邢美,金国良,张国伟,等. 基于 WEB 的农产品质量检测与溯源系统的设计[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(3): 499-502.
- [12] 丁治国,雷迎科. 基于优先级避让的防碰撞算法研究[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(3): 836-839.
- [13] 郭来功,黄友锐,蔡俊. 优化的动态帧时隙 ALOHA 防碰撞算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(11): 4141-4143.
- [14] 邱荣祖,陈锦斌,林宇洪. 基于 RFID 的茶叶物流追溯系统[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2014, 43(2): 220-224.