

基于 RFID 的中药材物流仓储智能化管理系统设计与应用

祝培源, 张改梅*, 孙柏青, 鲁建东, 刘辉, 宋晓利, 石佳子, 林乐豪
(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 针对中药材物流仓储中的自动化程度低、效率低和数据不准确等问题, 对其进行数字化和智能化管理, 以提高效率和数据准确性。**方法** 结合中药材的流通环境, 基于无线射频识别技术 (Radio Frequency Identification, RFID)、全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)、物联网技术和温湿度检测技术, 设计并开发中药材物流仓储智能化管理系统, 并提出一种改进基于碰撞位的汉明重数分组查询树算法 (HCQT)。**结果** 算法消除了空闲时隙, 减少了碰撞时隙, 使得中药材 RFID 系统信息采集传输更高效。实现了中药材在物流仓储各环节的管理功能, 以及温湿度、物流仓储数据的实时智能更新, 并应用于环境实时监测。**结论** 系统实现了对中药材物流仓储的自动化管理, 提高了工作效率, 在大量智能包装的物流系统中具有良好的应用前景。

关键词: 中药材; 包装; 无线射频技术; 物流仓储; 查询树算法

中图分类号: TP311.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)05-0212-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.05.026

Design and Application of RFID-based Intelligent Management System for Logistics and Warehousing of Chinese Medicinal Materials

ZHU Peiyuan, ZHANG Gaimei*, SUN Baiqing, LU Jiandong, LIU Hui,
SONG Xiaoli, SHI Jiazi, LIN Lehao

(Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problems of low automation, low efficiency and data inaccuracy in the logistics and warehousing of Chinese medicinal materials by conducting necessary digital and intelligent management, in order to improve efficiency and data accuracy. Combined with the circulation environment of Chinese medicinal materials and based on Radio Frequency Identification (RFID), Global Positioning System (GPS), Internet of Things (IoT) technology and temperature and humidity detection technology, an intelligent management system for logistics and warehousing of Chinese medicinal materials was designed and developed and an improved collision bit-based Hamming's heavy-count grouped query tree algorithm (HCQT) was proposed. The algorithm eliminated idle time slots and reduced collision time slots, which made the information collection and transmission of RFID system for Chinese medicinal materials more efficient. The management function of Chinese medicinal materials in all aspects of logistics and warehousing as well as temperature and humidity, data intelligent real-time update was realized and the algorithm was applied to real-time environmental monitoring. The system realizes the automated management of the logistics and warehousing of Chinese medicinal materials, improves the work efficiency, and has a good application prospect in a large

收稿日期: 2023-09-02

基金项目: 国家自然科学基金 (51305038); 北京印刷学院科技项目 (Ed201804, Eb201701); 国家新闻出版署智能绿色柔版印刷重点实验室项目 (ZBK201810)

*通信作者

number of intelligent packaging logistics system.

KEY WORDS: Chinese medicinal materials; packaging; RFID; logistics warehousing; query tree algorithm

目前,我国中药材多采用传统的物流管理形式,其集中管理力度、可控管理力度较低^[1]。在中药材物流仓储中对环境的温湿度要求较高,温湿度过高或过低都会影响药物的有效性^[2]。目前,国内缺乏专门针对中药材包装的物流仓储管理体系,其物流仓储管理现状存在出入库费时费力、精准度低、业务流程复杂、人力资源投入较大,以及温湿度检测还停留在人工记录阶段等问题^[3]。如何实现中药材物流仓储信息化管理是提高中药材物流仓储效率的关键。文中通过研究中药材在物流仓储环节中的薄弱点,设计中药材物流仓储过程的追溯系统,综合采用 GPS^[4]、RFID^[5-8]、无线通信等技术,构建中药材包装物流仓储信息追溯系统,以实现中药材产品在物流、仓储过程中信息的采集和追溯。

1 中药材物流仓储智能化管理系统设计

1.1 中药材物流仓储智能化管理系统总体架构

仓储管理系统以 RFID 技术为基础,以 RFID 标签为信息载体,以手持阅读器或固定式阅读器为采集设备,完成仓储管理工作^[9]。整个流程包括出入库管理、库存管理、订单管理、人员管理等。RFID 的使用可以使仓库管理更加科学,从而提高管理效率^[10]。

系统总体逻辑结构如图 1 所示。整个系统架构主要包括基础设施层、应用服务层、网关接口层和终端显示层。基础设施层主要提供保证系统正常运行的硬件资源。应用服务层提供业务通信、管理等功能,方便系统的部署和管理。网关接口层包含每个服务的入口逻辑,可以通过 HTTP、Socket、Web service 等访问每个服务端。终端显示层为不同的终端设备提供不同的显示接口,方便用户对系统进行操作和管理。

文中设计的系统由硬件系统和软件系统组成。硬件系统包括 RFID 系统、数据采集系统, RFID 系统主要负责货物的出入库与运输,数据采集系统结合各类传感器(如温湿度、氧气等)对货物的环境信息进行实时检测。RFID 系统的基本构成如图 2 所示。软件系统包括服务端管理系统和阅读器系统。

1.2 硬件设备的选择

为了确保系统快速、高效、稳定、不间断地运行,采用超高频 RFID 标签作为实验标签,温湿度传感器采用 DHT11 模块(温度测量范围为-20~+60 °C,精度为±2 °C;相对湿度测量范围为 5%~95%,精度为±5%)。GPS 采用 L76X GPS 模块。DHT11 是一款集成式温湿度复合传感器,工作电压为 3.3~5 V,测量范围为 0~50 °C、0%~80%(相对湿度),它的温度分辨率为 1 °C,相对湿度的分辨率为 1%,精度分别为±2 °C、±5%。

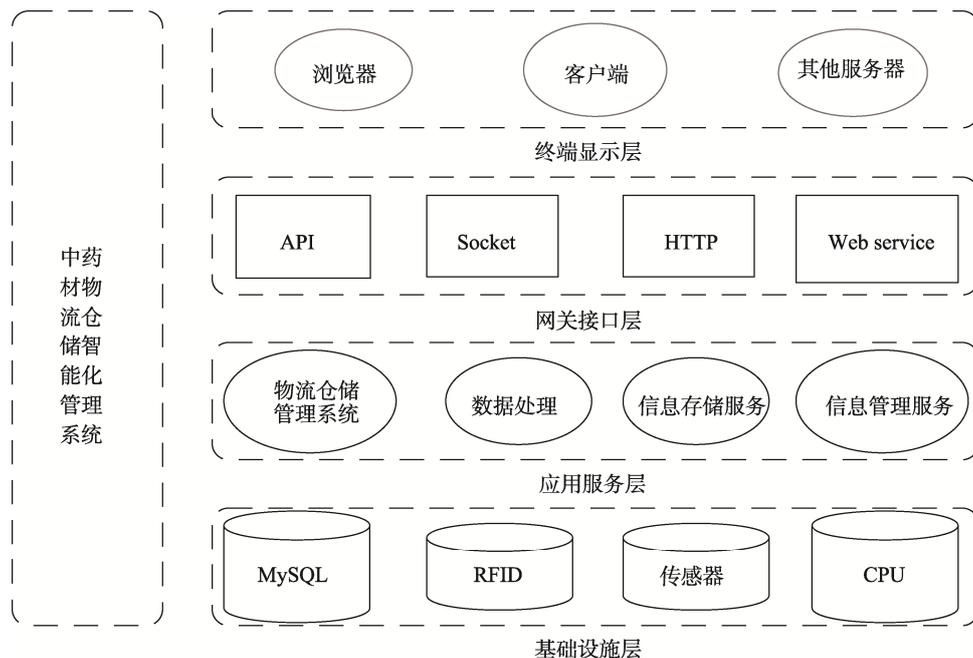


图 1 物流仓储总体架构
Fig.1 Overall architecture of logistics warehousing

材基本信息、中药材出库入库状况和库存管理情况进行管理。信息采集模块通过各类传感器采集中药材所处的环境信息, 为用户提供中药材从仓储管理到运输销售到货物目的地的全过程信息查询和溯源, 包括货物出入库情况、中转信息、位置信息、温湿度和 GPS 等信息。系统服务端只对管理员开放, 管理员可通过系统对用户信息、中药材基本信息、订单情况、人员信息和环境信息等进行查看、增、删、改、查等操作。

3 RFID 防碰撞算法优化设计

RFID 标签无需人工逐个扫描, 大大节省了人力、物力。由于在物流系统的智能包装管理中会产生 RFID 多标签碰撞现象, 因此如何在避免碰撞的情况下准确、快速地读取 RFID 标签数据, 是 RFID 应用在智能包装系统中需要研究和解决的问题之一^[14]。RFID 防碰撞算法主要分为 2 类: 基于 ALOHA 随机算法, 主要包括 ALOHA 分组自适应分配间隙 (GAAS)^[15]、动态帧时隙 ALOHA (DFSA)^[16]等; 基于树的确定性算法, 主要包括树的基本查询 (QT) 算法^[17]、碰撞树 (CT) 算法^[18]等。基于 ALOHA 随机算法的执行过程相对简单、易于实现, 但标签存在“饿死”问题。虽然基于树的确定性算法可以解决标签“饿死”的问题, 但存在识别周期长、标签能耗高的问题^[19]。

QT 算法是一种无记忆算法, 可以识别所有标签, 但会产生大量未占用空间和碰撞空间, 导致识别效率低下。为了提高 QT 算法的性能, Zhang 等^[20]对正交树进行了改进, 提出了 A4PQT (自适应正交剪枝查询树) 算法, 能有效减少空闲时间窗口, 但不能避免空闲时间窗口。

为了避免空闲时间窗口, 文中提出了基于碰撞位的汉明重数组查询树算法的改进 (Collision Bit-Based Query Tree Algorithm for Grouping of Hamming Heavy Numbers, HCQT) 算法。HCQT 算法只关注以最高碰撞位为首连续 3 个比特位上所产生的碰撞, 根据碰撞位数选择不同方法来确定准确的查询前缀, 可以实现无空闲间隙, 减少了碰撞间隙。

3.1 算法分析与设计

由于标签的碰撞概率与标签数量成正比, 因此通过对标签进行分组, 可以避免碰撞, 并提高了识别率。在识别应答器前, 读写器会发送 1 个空的轮询序列 ε , 作为初始化轮询命令传输的轮询前缀, 首先根据应答器编码中 1 的数量将应答器分为 0 组和 1 组, 即偶数组和奇数组。此时, 在读写器工作范围内所有的应答器都会做出响应, 然后对碰撞位进行分组处理, 存在以下 4 种情况。

1) 只有 1 个标签响应无碰撞, 完成数据交换后, 结束工作。

2) 若有 1 位碰撞位, 即该首位碰撞位后 2 位为非碰撞位, 则阅读器直接将第 1 个碰撞位设置为 0 和 1, 生成 2 个新的请求前缀, 并将其存储在堆栈中。如果读取器收到的碰撞码为 10?11?0, 则读取器可以直接生成 100、101 这 2 个新的请求前缀。

3) 如果有 2 个碰撞位, 即第 1 个碰撞位之后的 2 个位中有 1 个是碰撞位。此时, 读写器在下一个时隙发送用户查询命令, 以确定标签的碰撞情况, 并返回准确反映标签碰撞信息的 4 位映射数据。读写器收到标签返回的关联数据后, 会准确识别出碰撞信息最高的 2 个标签, 然后确定下一个查询命令。映射关系如表 1 所示。

表 1 映射关系
Tab.1 Mapping relation

碰撞信息	映射数据
00	0001
01	0010
10	0100
11	1000

4) 如果有 3 个碰撞位, 阅读器首先通过连续碰撞位中的非零字符数, 计算出每个标签识别码后的标签的汉明权重, 然后将具有相同汉明权重的标签分为 1 组, 并将标签的汉明权重转换为相应的二进制组号。确定组号是否碰撞, 若无碰撞, 则可对组合进行映射, 进而预测组号存入栈; 若发生碰撞, 则根据组号和碰撞信息推测出前缀组合存入栈。相应的汉明权重编号见表 2。

表 2 对应的汉明权重
Tab.2 Correspondence of Hamming weights

组号	汉明权重	识别码
00	0	000
01	1	001、010、100
10	2	011、101、110
11	3	111

3.2 算法流程

算法的具体流程如图 5 所示。

1) 初始化, 查询前缀堆栈, 发送阅读器请求指令, 响应阅读器作用范围内的所有标签。

2) 符合当前查询指令的标签响应。

3) 在阅读器收到标签反馈后的标签信息中, 如果只有 1 个标签有信号反馈, 则识别和屏蔽标签, 完成数据交换; 如果标签碰撞, 则根据标签编码中 1 的数量为奇数或偶数分为 2 组, 然后阅读器根据碰撞位数分为以下 3 种情况: 在碰撞位为 1 时, 直接生成 2 个

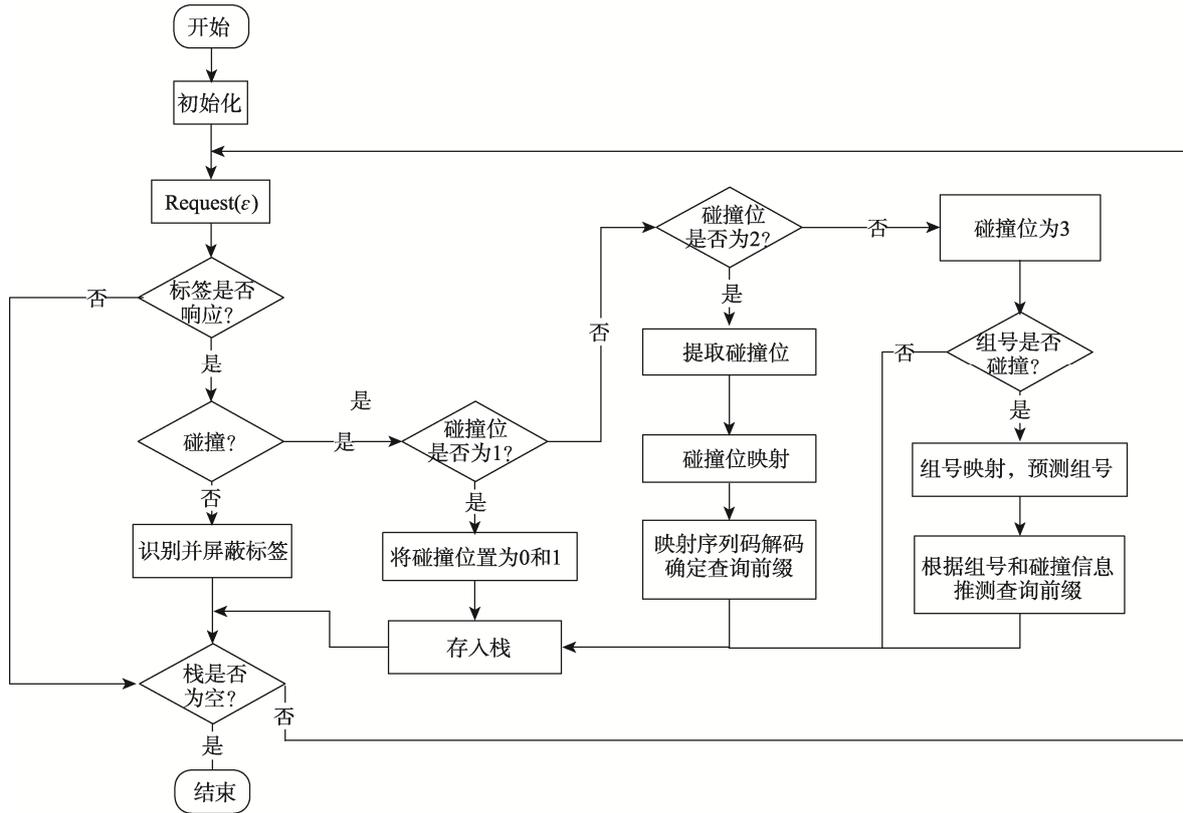


图5 算法流程
Fig.5 Algorithm flowchart

新的查询前缀，转到步骤 4)；当碰撞位置为 2 时，阅读器根据接收到的映射数据序列码，确定新的查询前缀，并将其转移到步骤 4)；当碰撞位置为 3 时，阅读器按照汉明的权重原则对标签进行分组，并根据不同组中的碰撞位特征推断标签的前缀组合，并将其转移到步骤 4)。

4) 将新的查询前缀压入堆栈。

5) 按照从栈顶到栈底的顺序，阅读器将查询指令发送到标签，并返回步骤 2)。

6) 判断栈是否空，如果栈不空，则返回步骤 5)；若栈为空，则表示所有标签均已识别，识别过程结束。

3.3 算法性能分析

假设系统中有 n 个标签，二叉树的总结点： $N=N_c+n$ (N_c 为碰撞节点的数量)。当识别过程中所有碰撞均为非连续碰撞时， $N=2N_c+1$ ，可得 $N_c=n-1$ ，因此 $N=2n-1$ 是算法识别 n 个标签所需的总间隙。当所有碰撞均为连续碰撞时，树上的碰撞节点会产生 4 个子节点，所以有 $N_f=N_1+N_c=4N_c+1$ (N_1 、 N_c 分别是四叉树中的叶节点数量和碰撞节点数量)，则 $N_f=3N_c+1$ 。在四叉树中，叶节点可能为成功节点，也可能为空闲节点，因此可以改写为 $n+N_f=3N_c+1$ 。连续碰撞节点在多标签识别过程中可能产生 0~2 个空闲节点。以上碰撞形式出现的概率相等，则将 0~2 分别带入 N_f 后，可得 $N=(20n-11)/9$ 。在多标签识别过程中，算法识别存在连续碰撞和非连续碰撞， n 标签期望的总间隙

(N) 满足： $2n-1 \leq N \leq (20n-11)/9$ 。在 RFID 系统中，吞吐率通常是衡量系统识别性能的重要指标，将 RFID 系统吞吐率定义为 $T = \frac{n}{N}$ 。

将 HCQT 算法在识别过程中识别标签所需的总间隙与 QT 算法、A4PQT 算法、CT 进行了比较，如图 6 所示。将 HCQT 算法在识别过程中的吞吐率与 QT 算法、A4PQT 算法、CT 进行了比较，如图 7 所示。性能分析和实验模拟结果表明，HCQT 算法在总间隙和吞吐率方面具有良好的性能，可以有效提高 RFID 在中药物流仓储智能管理系统中的性能。

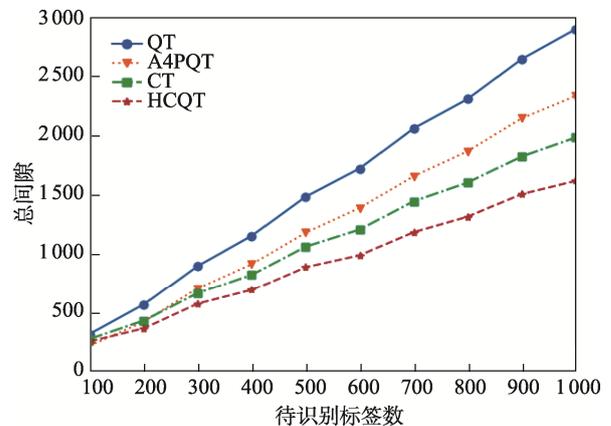


图6 总间隙对比
Fig.6 Total time slot comparison

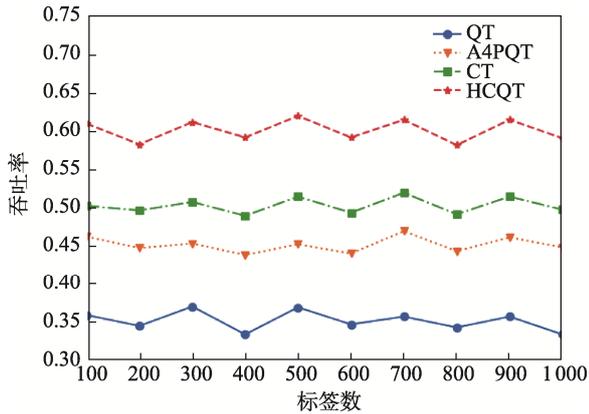


图 7 吞吐率对比

Fig.7 Throughput rate comparison

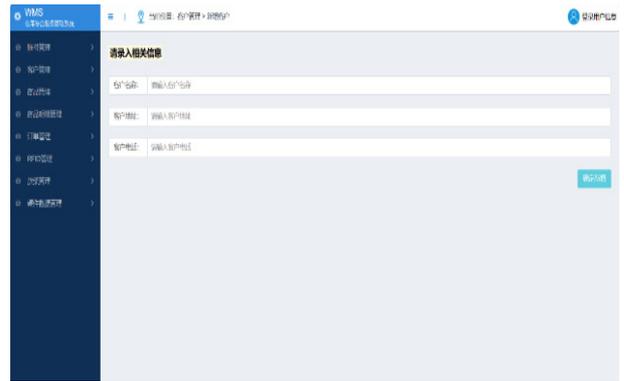


图 9 服务端页面

Fig.9 Server page

4 中药材物流仓储智能化管理系统的实现

4.1 RFID 手持阅读机功能

在物流仓库中, 将贴好标志的智能包装产品通过 RFID 传感器后, 根据需要将商品放置于指定仓库。根据产品的需要做好出库管理工作, 如果产品被放错了地方, 则通过自动改变仓库地址, 利用移动感手持阅读器感应货物数据, 并发送到后台系统改变库存数据, 进而完成快捷有效的移库操作。仓储人员需盘点库存商品的数据, 及时纠正错误, 实现仓储货物的信息追溯, 减少了人力、物力的消耗。RFID 手持阅读器的登录与系统如图 8 所示。

4.2 服务端部分功能界面

服务端页面功能展示如图 9 所示, 管理员可在此进行账号管理、客户管理、商品管理、商品明细管理、订单管理、RFID 管理、货架管理、硬件数据管理等。数据采集端可以实时采集环境中的温湿度氧气等数据, 并回传至前端, 便于人员实时检测, 检测系统硬件如图 10 所示。



图 10 检测系统硬件照片

Fig.10 Photo of detection system hardware

系统接收到的温湿度信息如图 11 所示。系统可通过调整时间查看不同日期的温湿度信息, 实现温湿度信息的追溯。

开始时间	结束时间	温度	湿度	数据IP	数据地址	检测时间
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:22:19
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:22:30
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:27:08
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:27:24
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:27:38
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:27:43
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:27:45
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:28:00
2023-03-30	2023-03-30	21.43	17.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:28:05
2023-03-30	2023-03-30	21.43	18.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:28:15
2023-03-30	2023-03-30	21.43	18.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:28:21
2023-03-30	2023-03-30	21.43	18.00	47.86.183.118	硬件数据源	2023-04-08 22:28:31

图 11 温湿度检测界面

Fig.11 Temperature and humidity detection page



a 登录页面 b 系统主页面 c 库存管理界面

图 8 登录与系统展示

Fig.8 Diagram of landing and system

4.3 系统功能应用

为了验证系统的可行性, 模拟樱桃的仓储环境, 选择多功能集成保鲜袋为包装材料, 对同一品种、同一批次的新鲜成熟樱桃进行包装, 分别采用全封闭、半封闭、大气环境等 3 种存储方式, 进行 2 组实验, 每种存储方式选取 8 个樱桃, 共计 48 个樱桃。数据采集端通过物联网技术实时监测和记录包装环境的温度、湿度和氧气浓度 (体积分数), 并将数据上传至服务器端, 如图 12 所示。测得氧气浓度的对比如图 13 所示。

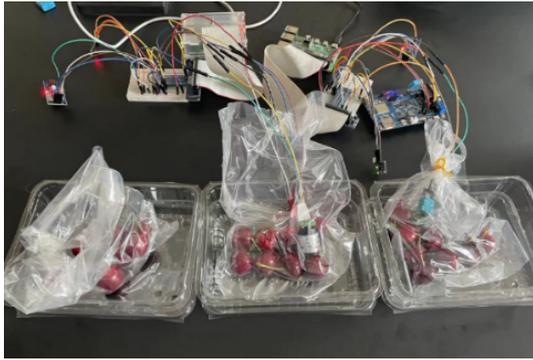


图 12 模拟实验
Fig.12 Simulation test

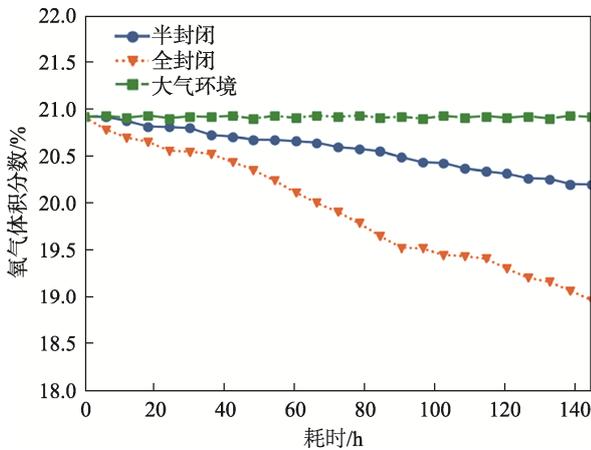


图 13 氧气浓度对比
Fig.13 Comparison of oxygen concentration

为了验证中药材物流仓储智能化管理系统的硬件检测结果的准确性，将测试结果与温湿度计结果进行对比，见表 3。结果基本一致，证明了系统的准确性。

表 3 温湿度测量值对比
Tab.3 Comparison between temperature and humidity values

性能对比	温度 1/°C	温度 2/°C	温度 3/°C	相对湿度 1/%	相对湿度 2/%	相对湿度 3/%
标准值	27.0	27.0	14.0	19.0	43.0	54.0
测量值	26.7	27.1	14.1	19.0	43.0	54.0

5 结语

结合国内中药材的运输存储情况，利用物联网、RFID 等技术设计并开发了中药材物流仓储智能化管理系统，实现了中药材物流仓储中各环节的功能，并结合温湿度、氧气等传感器对环境信息进行实时监测，对比结果证明了系统的有效性。中药材智能管理系统的使用，保证了物流仓储管理的智能化，使得各个环节更加精准高效，将其应用于中药材高附加值商

品物流领域，提高了物流仓储效率，加快了现代中药材物流仓储的信息化进程。

参考文献：

- [1] 余亦婷, 张倩, 皮文霞, 等. 集约、标准化加工, 信息、智能化储运: 中药材产地初加工及储运管理现状与趋势分析[J]. 南京中医药大学学报, 2020, 36(5): 635-640.
YU Y T, ZHANG Q, PI W X. Intensive and Standard Processing, Informationized and Intelligent Storage: Current Situation and Trend Analysis of Primary Processing, Storage and Transportation Management of Chinese Medicine[J]. Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2020, 36(5): 635-640.
- [2] 廖保生, 宋经元, 谢彩香, 等. 道地药材产地溯源研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(20): 3881-3888.
LIAO B S, SONG J Y, XIE C X, et al. Study on Traceability System of Genuine Medicinal Materials[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2014, 39(20): 3881-3888.
- [3] 杨浩雄, 孙丽君. 利用现代物流体系促进中药材保护与发展[J]. 中国中医药信息杂志, 2017, 24(8): 14-18.
YANG H X, SUN L J. Protection and Development of Chinese Materia Medica through Modern Logistics System[J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2017, 24(8): 14-18.
- [4] 金迪. RFID 包装系统中防冲突算法研究[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 1-5.
JIN D. Anti-Collision Algorithm in RFID Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 1-5.
- [5] LANDALUCE H, ARJONA L, PERALLOS A, et al. A Review of IoT Sensing Applications and Challenges Using RFID and Wireless Sensor Networks[J]. Sensors, 2020, 20(9): 2495.
- [6] CASELLA G, BIGLIARDI B, BOTTANI E. The Evolution of RFID Technology in the Logistics Field: A Review[J]. Procedia Computer Science, 2022, 200: 1582-1592.
- [7] CHAMBERS T, PEARSON A L, KAWACHI I, et al. Kids in Space: Measuring Children's Residential Neighborhoods and other Destinations Using Activity Space GPS and Wearable Camera Data[J]. Social Science & Medicine, 2017, 193: 41-50.
- [8] COSTA F, GENOVESI S, BORGESSE M, et al. A Review of RFID Sensors, the New Frontier of Internet of Things[J]. Sensors, 2021, 21(9): 3138.
- [9] POPOVA I, ABDULLINA E, DANILOV I, et al. Appli-

- cation of the RFID Technology in Logistics[J]. *Transportation Research Procedia*, 2021, 57: 452-462.
- [10] MORE S S, PATHAK G, PANCHAL S, et al. RFID-Based Railway Crowd Prediction and Revenue Analysis[M]// *Data Intelligence and Cognitive Informatics*. Singapore: Springer Singapore, 2021: 97-109.
- [11] 刘峥. 困境与突破: 中药材供应链创新发展研究[J]. *中草药*, 2017, 48(19): 4126-4132.
- LIU Z. Dilemma and Breakthrough: Innovation and Development of Chinese Herbal Medicine Supply Chain[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2017, 48(19): 4126-4132.
- [12] ALYAHYA S, WANG Q, BENNETT N. Application and Integration of an RFID-Enabled Warehousing Management System – a Feasibility Study[J]. *Journal of Industrial Information Integration*, 2016, 4: 15-25.
- [13] JARAŠŪNIENĖ A, ČIŽIŪNIENĖ K, ČEREŠKA A. Research on Impact of IoT on Warehouse Management[J]. *Sensors*, 2023, 23(4): 2213.
- [14] HE Y J, WANG X Y. An ALOHA-Based Improved Anti-Collision Algorithm for RFID Systems[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2013, 20(5): 152-158.
- [15] 张小红, 胡应梦. 分组自适应分配时隙的 RFID 防撞算法研究[J]. *电子学报*, 2016, 44(6): 1328-1335.
- ZHANG X H, HU Y M. Research on a Grouped Adaptive Allocating Slot Anti-Collision Algorithm in RFID System[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2016, 44(6): 1328-1335.
- [16] SCHOUTE F. Dynamic Frame Length ALOHA[J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1983, 31(4): 565-568.
- [17] LANDALUCE H, PERALLOS A, GARCIA ZUAZOLA I J. A Fast RFID Identification Protocol with Low Tag Complexity[J]. *IEEE Communications Letters*, 2013, 17(9): 1704-1706.
- [18] JIA X L, FENG Q Y, MA C Z. An Efficient Anti-Collision Protocol for RFID Tag Identification[J]. *IEEE Communications Letters*, 2010, 14(11): 1014-1016.
- [19] BONUCCELLI M A, LONETTI F, MARTELLI F. Instant Collision Resolution for Tag Identification in RFID Networks[J]. *Ad Hoc Networks*, 2007, 5(8): 1220-1232.
- [20] ZHANG W, GUO Y J, TANG X M, et al. An Efficient Adaptive Anticollision Algorithm Based on 4-Ary Pruning Query Tree[J]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013, 9(12): 848746.