

基于 RFID 和指静脉识别的化学药品智能管理柜设计

章政焕, 邬杨波, 谢建军*

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为保障实验室中存放的药品安全, 提出一种基于射频识别(RFID)和指静脉识别的化学药品智能管理柜. 智能柜采用 RFID、指静脉识别等物联网技术, 通过用户身份认证, 化学药品的自动识别、记录以及存储空间的智能控制, 实现实验室化学药品的高效安全管理. 样机实际测试结果表明, 系统可以较好地通过指静脉识别对使用者的身份进行认证, 也能够通过 RFID 快速识别化学药品; 系统智能化程度高, 各项功能完备, 可显著提高实验室化学药品管理能力.

关键词: 射频识别; 指静脉识别; 物联网; 化学药品管理

中图分类号: TP315; TP391.44 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-5132 (2021) 03-0115-06

随着近代化工产业的发展, 高等院校作为高新化工技术的研发场所, 其化学药品的使用量呈现增大趋势^[1]. 这些高校的化学实验室中通常存放着种类繁多、性质复杂、有毒有害、易燃易爆挥发的化学药品. 同时, 实验室人员流动密集, 化学药品使用量较大, 稍有不慎就会引起火灾、爆炸以及有毒气体泄漏, 从而造成一定程度的人员伤亡和财产损失^[2-3]. 所以, 高校的化学实验室在化学药品使用与存放方面有着严格的要求^[4]. 但鉴于多数实验室缺乏高效的管理手段, 高校现有的化学药品管理方式难以满足学生日常使用需求, 也给管理人员带来较大工作负担.

传统化学药品管理方式从药品使用的申请、审批到用户的借用归还依靠人工管理, 大多还普遍使用计算机存储管理数据. 这种方式虽然简单易行, 但是存在管理方式落后、数据无法共享、监管精细度低、数据易丢失等问题, 限制了化学药品使用的效率. 部分高校实验室也使用由 MCU 控制驱动电路的电子存储柜, 用户需要刷校园卡或手动输入密码, 但用户一旦丢失校园卡或忘记密码就会造成不便和管理难度^[5-7]. 这种方式在一定程度上虽然提高了管理效率, 但药品存放安全性低, 身份验证流程繁琐, 在日常使用中仍存在管理漏洞.

针对现有管理方式精细度低、安全性低、智能化程度不高的缺点, 本文结合目前热门的物品识别、生物识别等物联网技术, 提出了一种基于 RFID 和指静脉识别的化学药品智能管理柜(简称智能柜). 智能柜以 Exynos4412 主控模块为核心, 借助指静脉识别模块验证用户身份, 使用 RFID 物品识别模块来辅助完成药品的借还操作和入库记录, 通过网络通信模块向云端服务器发送智能柜运行数据, 并接收云端服务器的控制指令, 管理员可以根据智能柜反馈的运行数据对智能柜做出相应调整. 智能柜应用了 RFID、指静脉识别等物联网技术, 具有很高的智能化程度, 旨在推动实验室化学药品的规范化、精细化管理, 应用前景广阔.

1 化学药品智能管理柜简介

基于 RFID 和指静脉识别的化学药品智能管理柜主要功能是存储和管理实验室化学药品, 识别和监测药品流动去向; 采集用户指静脉特征值, 识别并验证用户身份信息, 记录用户操作, 并存储数据到智能柜本地数据库; 与配套的云端服务器通信, 上传智能柜运行数据, 接收服务器控制指令.

智能柜对用户的身份信息进行认证, 给予通过认证的用户操作权限, 拒绝未通过认证的用户,

收稿日期: 2020-06-02.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGF19B050003); 宁波市自然科学基金(2018A610401).

第一作者: 章政焕(1996-), 男, 浙江衢州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统设计. E-mail: 1811082174@nbu.edu.cn

*通信作者: 谢建军(1974-), 男, 浙江余姚人, 工程师, 主要研究方向: 电路与系统. E-mail: xiejianjun@nbu.edu.cn

从而保证化学药品的安全性。目前,生物识别技术已经成为最为便捷与安全的身份识别解决方案,常用生物识别技术主要有指纹识别、虹膜识别、人脸识别、手指静脉识别等。手指静脉识别是一种新兴的生物特征识别技术,使用特定波长的光线对手指前端进行照射,获得特殊的手指静脉成像图,再对图像进行分析处理以获取手指静脉的生物特征。由于每个人的手指静脉特征都是独一无二的,经过算法比对,可通过此特征确定身份。该技术有活体识别、生物特征不易磨损的优点,相较于指纹识别和人脸识别,识别准确度和可靠性更高^[8-9],因而本智能柜使用指静脉识别技术作为身份识别方式。

在实际应用场景中,智能柜要能够准确识别出柜内存放的化学药品,达到简化药品管理流程,降低管理难度的目的。目前主流的物品识别方式,主要有 NFC、蓝牙信标识别、扫描二维码、RFID 等。RFID 是一种非接触式的自动无线电射频识别技术,它利用了射频信号及其空间耦合的传输特性,实现对静止或移动物品的自动化识别。一个 RFID 系统由阅读器、射频天线、电子标签三部分构成,其原理是由阅读器通过射频天线发送一定频率的无线电波能量给电子标签,唤醒电子标签内部的微型芯片,芯片返回唯一的 EPC 码给阅读器,从而完成物品识别。RFID 具有识别速度快,不易受环境干扰,可识别距离远,数据安全性高等的优点^[10-11],本智能柜使用 RFID 来进行化学药品的识别。

智能柜的基本工作流程如图 1 所示。智能柜通过指静脉模块采集用户指静脉特征值,验证通过用户身份后,主控模块发出信号驱动电控锁开启柜门。用户在智能柜操作界面查询要借用(归还)药品的存放信息,并在语音播报模块指示下,找到取

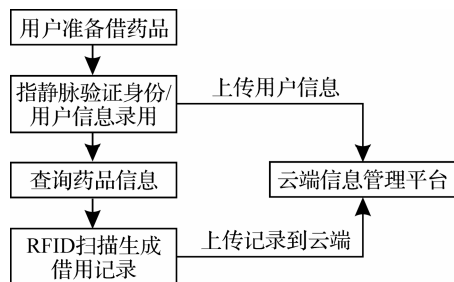


图 1 智能柜工作流程示意图

出待借用(归还)的化学药品,然后关闭柜门。智能柜使用 RFID 阅读器扫描识别待借用品,与开门用户的身份信息对应生成借还记录,存储到本地数据库中。智能柜每日定时通过以太网向云端服务器上传用户录入的指静脉特征值、化学药品借还记录以及智能柜运行状态信息。

2 化学药品智能管理柜硬件设计

智能柜的硬件采用模块化设计,每个硬件电路模块负责实现智能柜的一些功能,主控模块连接控制其他模块,模块化设计使智能柜硬件便于维护和更新。智能柜硬件总体架构如图 2 所示,主要包括主控模块、化学药品识别模块、用户身份认证模块以及系统电源管理模块、网络通讯模块、声光提示模块和电控锁等外围辅助模块。

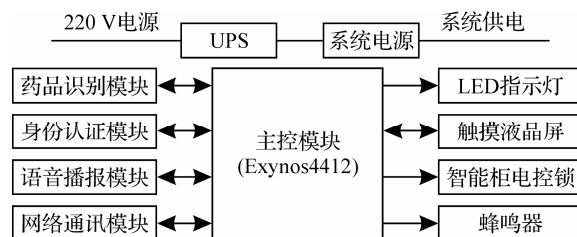


图 2 智能柜硬件总体架构

2.1 智能柜主控模块设计

主控模块是整个智能柜硬件系统的核心,具有数据采集、控制和通信功能。考虑到系统的庞大和功能的复杂度,控制器主芯片采用高性能嵌入式处理器 Exynos4412,其运行频率 1.4 GHz,片内外设资源丰富,可以快速处理系统数据。主控模块外接存储芯片,具有 2 GB 运行内存和 16 GB 存储空间,可以运行基于 Linux 的智能柜控制系统。主控模块通过串口 2 控制指静脉模块,对用户身份进行验证;通过串口 3 控制 RFID 阅读器,识别检测化学药品;通过串口 1 控制语音模块播报相应的语音信息。

2.2 身份认证模块设计

用户身份认证模块由指静脉数据处理器、触觉传感器、红外图像采集器和红外光源组成,模块硬件架构如图 3 所示。使用嵌入式指静脉数据处理器 V2019,最大存储 1 500 个指静脉模板,具有指静脉图像处理、特征提取、数据匹配和 ID 输出的功能。V2019 通过串口与主控模块通信,接收主控模

块的信息录入、身份认证等指令, 将指静脉身份认证结果反馈给主控器。主控模块根据认证结果与用户 ID 数据库进行比对, 验证通过后驱动电控锁开启智能柜柜门。模块中加入触觉传感器用来感应手指位置, 并引导用户调整手指角度, 以获得最佳的指静脉图像, 进一步增加识别成功率。

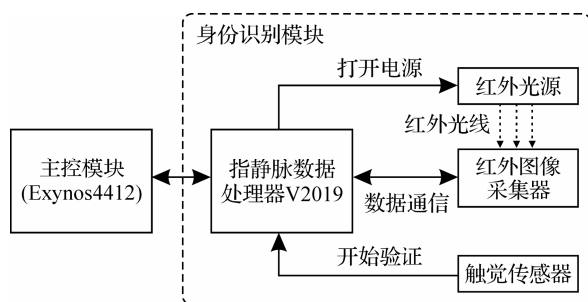


图3 身份认证模块硬件架构图

2.3 药品识别模块设计

药品识别模块由主控单片机、RFID 读卡模块、射频开关、射频天线等组成, 其硬件架构如图4所示。本文使用 RF100 射频识别芯片读取 RFID 标签信息, 可快速识别大量标签, 识别距离可达到 2 m。主控模块通过串口向主控单片机发送控制指令, 主控单片机通过串口向读卡模块传递指令扫描柜中的药品, 返回已识别标签的 EPC 码到主控模块。主控模块获取数据后, 与数据库中的药品清单进行比对, 生成药品借还记录, 然后通过网络上传到云端信息管理平台。

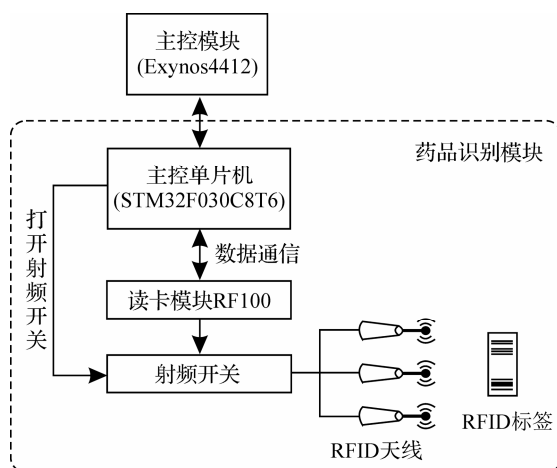


图4 药品识别模块硬件架构图

系统为提高药品识别的准确度, 使用多个天线扫描标签, 但多个天线收到的数据若同时返回会导致数据冲突, 影响识别效果。因此加入射频开

关 RF1450, 由主控单片机控制开关按时间顺序先后开启各个天线通道采集射频数据, 避免了数据冲突。

2.4 外围辅助模块设计

为了使药品柜处于最佳工作状态, 系统需要多种不同电压为各模块供电, 选用电源管理芯片 S5M8767 和 DC/DC 芯片 RT8065, 将 5 V 的输入电压转化为模块需要的电压。S5M8767 为主控模块供电, 5 V 电源为 RFID 模块、电控锁供电, 指静脉模块和语音模块由 5 V 电源经降压电路降压为 3.3 V 供电。

网络通信采用有线以太网连接方式, 网络接口芯片采用 DM9621, 是一种 USB 转 10/100 Mbps 的高速以太网控制器, 实现了基于 IEEE 802.3 及 IEEE 802.3u 标准的 10/100 Mbps 以太网 LAN 功能。主控模块通过 USB 接口与 DM9621 通信, 将数据包通过以太网传输给云端平台。

此外, 智能柜使用 LED 指示灯、蜂鸣器、语音播报、触摸液晶屏等电路模块指示系统状态, 帮助用户更方便地使用智能柜。

3 化学药品智能管理柜控制系统设计

智能柜控制系统(以下简称控制系统)运行在智能柜的主控模块上, 控制系统使用 Linux 3.0.15 版本的 Linux 内核, 内核加载控制柜子设备的驱动模块; 基于 QT 架构开发智能柜终端应用软件, 方便用户使用智能柜的各项功能。

3.1 智能柜控制系统总体设计

图5为控制系统整体架构, 控制系统分为4层, 系统最底层是硬件驱动层, 加载柜子外设各类驱动程序, 还包括引导 Linux 内核启动的 BootLoader, 上电后, 系统具备控制柜子外设的能力。操作系统层采用嵌入式 Linux 内核, 注册驱动模块生成相应外设的设备节点。功能模块层包含一系列功能子模块, 这些子模块打开操作系统层的设备节点, 调用驱动模块提供的 API 接口控制智能柜外设电路完成智能柜的身份认证、物品识别等功能。智能柜终端应用软件构成控制系统的应用层, QT 提供简洁美观的用户操作界面, 用户可以快速了解智能柜的使用方法; QT 独特的信号与槽机制可将界面组件与功能模块控制函数绑定, 用户在界面上简

单操作即可完成身份认证、药品的查询和借还。

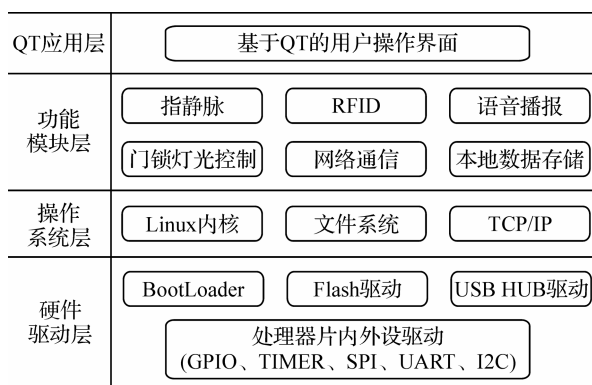


图5 智能柜控制系统整体架构图

不同于其他嵌入式控制系统,本文所设计的智能柜控制系统具有良好人机交互设计,使用者通过用户操作界面可像手机一样方便地使用药品柜。控制系统基于嵌入式Linux内核设计,有良好的内存管理和进程控制机制,在保证系统稳定运行的同时,让系统小型化。控制系统各项功能采用模块化设计,每个模块对应药品柜的一项功能,挂载到系统的功能模块层,使用者可根据实际情况增减功能模块,从而满足不同使用场景的需要。

3.2 智能柜终端应用软件流程设计

用QT编写智能柜终端应用软件,MySQL数据库存储用户、化学药品及智能柜状态信息。用户使用指静脉验证身份后,可进行智能柜开启、化学药品查询和借还等操作。具体智能柜终端应用软件流程如图6所示。

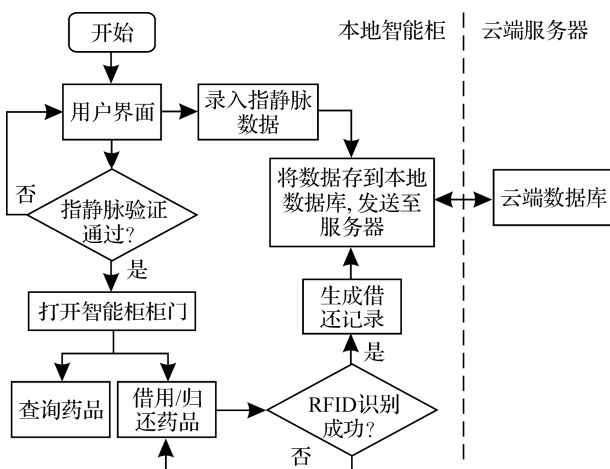


图6 智能柜终端应用软件流程图

3.3 智能柜与云端通信方式设计

基于http数据包结构,在控制系统部分设计了

如图7所示的智能柜状态数据包用于本地智能柜与云端服务器通信。包开头若干字节为请求行,包含请求方法、请求URL和http协议版本。请求行之后是由键值对构成的包请求头,标注了请求主机的IP地址以及请求数据大小等信息,占用若干字节。请求头之后是空行,占用2个字节,通知服务器以下不再有请求头信息。空行之后是请求数据,包含智能柜向云端上传的数据,智能柜设备名占用6字节,上传时间占4字节,智能柜状态数据占4字节,药品借还记录占120字节,用户身份验证记录占80字节,指静脉录入数据占1500字节。服务器收到数据包后,根据请求头信息,将数据包分割解析出智能柜数据,存入云端数据库中,管理员可根据数据统计结果对智能柜进行调整。

包请求行 (若干字节)	包请求头 (若干字节)	空行 (2字节)	设备名* (6字节)	上传时间* (4字节)
设备状态* (4字节)	药品借还记录* (120字节)	身份验证记录* (80字节)	指静脉录入数据* (1500字节)	

注:星号为智能柜上传云端的数据相加值,共计1714字节。

图7 智能柜与云端通信数据包格式

4 智能柜功能测试

通过上述智能柜的软硬件设计,实现智能柜的功能,现对智能柜的身份识别、物品识别和网络通信等基本功能进行测试。

4.1 指静脉身份认证功能测试

由于指静脉识别的速度和准确度通常与模板库的大小相关,本次测试分别取10~50个指静脉模板构成模板库,对1个模板认证10次,测算平均认证时间和认证准确度。测试结果见表1,从表中数据可见,认证时间随着指静脉模板数量的增多而加长,但是认证时间不超过0.2s,且识别准确度均为100%,最终结果表明指静脉识别方式快速准确,适合智能柜使用。

表1 不同模板数的指静脉识别效果

指静脉模板数/个	平均认证时间/s	认证准确度/%
10	0.151	100
20	0.153	100
30	0.155	100
40	0.164	100
50	0.173	100

4.2 RFID 物品识别功能测试

RFID 药品识别的准确度与药品容器外壳材质以及药品数量有关。本次测试选用玻璃、塑料两种材质的容器, 将容器按 5 个、10 个、20 个的不同数量分批次进行测试。放置的容器之间无遮挡, 均匀分布在储物柜中, 容器与柜壁保留 15 cm 间隔。多个天线布置在侧面, 每次进行 50 次盘存。测试方式如图 8 所示, 并可从表 2 测试识别结果可见, 对于不同非金属材质的容器, 识别准确度有所不同, 药品数量对 RFID 识别准确度也没有影响, 塑料和玻璃材质的容器都有着较高的识别准确度, 完全能满足日常使用。

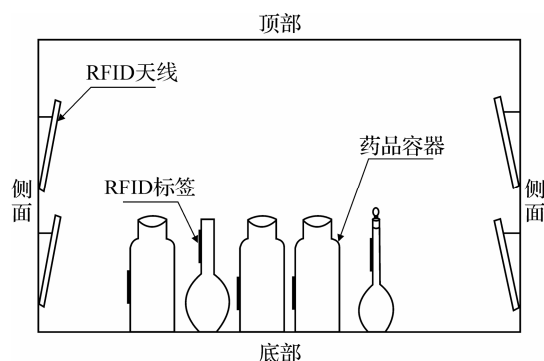


图 8 药品识别测试示意图

表 2 不同材质和数量容器的 RFID 识别效果

容器材质	容器数量/个	识别准确度/%
塑料	5	100
	10	100
	20	100
玻璃	5	96
	10	96
	20	98

RFID 药品识别的准确度还与天线的位置和数量有关, 在实际测试中分别使用单天线、双天线和四天线进行测试, 天线放置在柜内不同位置。柜内放置一定数量药品, 每次进行 50 次盘存来测试对药品的识别准确度。从表 3 测试结果来看, 天线布置在侧面的识别准确度远高于顶部, 而柜内侧面是最佳的天线位置, 天线在正对标签时能减少信号的能量损耗, 而且天线数量越多, 识别准确度越高。

在实际使用中, 为获得最好的药品识别效果, 一方面系统应使用多天线模式, 并将天线安装在

表 3 不同数量天线的 RFID 识别效果

天线数量/根	天线位置	识别准确度/%
1	顶部	26
	侧面	94
2	顶部	30
	侧面	96
4	顶部	32
	侧面	100

柜内侧面, 以提高盘存功率和增加盘存次数; 另一方面药品存放应选用非金属材质的容器, 并尽量将标签正对 RFID 天线。

4.3 智能柜网络通信功能测试

智能柜通过以太网连接到互联网, 从而与云端服务器通信。智能柜每日定时通过网络链路将 http 通信数据包发送到云端服务器, 同时接收来自云端的控制指令。本次测试将智能柜连入互联网, 与云端服务器建立连接, 分别将 1 000、2 000、3 000、4 000、5 000 字节的数据包发送到服务器, 每种包各发送 20 次, 记录平均包传输时间与丢包率。从表 4 测试结果可见, 随着包数据量的增大, 数据包的平均传输时间也相应增大, 均未发生数据包丢失。结果表明智能柜与服务器通信链路正常, 数据传输快速而且稳定, 符合智能柜网络通信的设计要求。

表 4 智能柜与云端服务器通信测试

包大小/字节	包传输时间/ms	丢包率/%
1 000	1.210	0
2 000	1.553	0
3 000	1.883	0
4 000	1.891	0
5 000	2.080	0

5 总结

当今社会是物联网时代, 化学药品管理系统参照物联网架构设计, 运用物联网技术, 并搭建云端平台辅助管理, 这种全新的管理方式是现代实验室化学药品管理系统的发展趋势。本文针对目前实验室化学药品管理精细度低、安全性不高的现状, 研究设计了一种基于 RFID 和指静脉识别的化学药品智能管理柜。用户利用指静脉识别身份, 智

能柜通过 RFID 识别监管化学药品, 管理数据存到云端用以核验. 对智能柜的指静脉识别模块、RFID 物品识别模块、网络通信模块等一系列外围辅助模块分别进行功能测试. 指静脉识别认证时间小于 0.2 s, 认证成功率为 100%. RFID 物品识别使用塑料容器的准确度为 100%, 使用玻璃容器的准确度可达 97%, 识别时间小于 0.1 s. 网络通信丢包率 0%, 传输时间小于 0.01 s, 数据吞吐量满足智能柜日常使用需求. 用户通过液晶屏可以方便地使用智能柜, 人机交互设计完备. 系统实验结果表明, 本智能柜具有安全可靠、精细度高、使用方便等优点, 将会大大提升实验室中化学药品管理的便捷性、智能性、安全性和信息化程度.

参考文献:

- [1] Rajeev A, Pati R K, Padhi S S. Sustainable supply chain management in the chemical industry: Evolution, opportunities, and challenges[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 149:275-291.
- [2] Ayi H R, Hon C Y. Safety culture and safety compliance in academic laboratories: A Canadian perspective[J]. *Journal of Chemical Health and Safety*, 2018, 25(6):6-12.
- [3] Álvarez-Chávez C R, Marín L S, Perez-Gamez K, et al. Assessing college students' risk perceptions of hazards in chemistry laboratories[J]. *Journal of Chemical Education*, 2019, 96(10):2120-2131.
- [4] Cadwallader L C, Pawelko R J. Elements of experiment safety in the laboratory[J]. *Journal of Javascript: Chemical Health and Safety*, 2019, 26(4/5):20-25.
- [5] 张扬之. 危险化学品信息系统设计与实现[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2014.
- [6] 郝雪蕾. 基于物联网的仓库管理系统研究与实现[D]. 唐山: 华北理工大学, 2018.
- [7] Kshash A H. A storage cabinet design for research chemicals for developing nations[J]. *Journal of Chemical Health and Safety*, 2019, 26(4/5):29-32.
- [8] Chen L, Wang J, Yang S, et al. A finger vein image-based personal identification system with self-adaptive illuminance control[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2017, 66(2):294-304.
- [9] Senthilkumar P, Jawahar M, Muthukumar, M. A study of image possession and pre-refinement of finger vein recognition[J]. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 2019, 8(12):1021-1024.
- [10] Wijaya D R, Asror I. Integrated and efficient attendance management system based on radio frequency identification (RFID)[J]. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2015, 73(1):149-154.
- [11] Li J, Feng G, Wei W, et al. PSOTrack: A RFID-based system for random moving objects tracking in unconstrained indoor environment[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2018, 5(6):4632-4641.

Design of smart cabinet for chemicals based on RFID and finger vein recognition

ZHANG Zhenghuan, WU Yangbo, XIE Jianjun*

(Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: To ensure the safety of the drugs stored in a laboratory, in this paper a smart cabinet is designed for storing chemical drugs based on RFID and finger vein recognition. The intelligent part adopts the Internet of Things technologies such as RFID and finger vein recognition. Through user identity authentication, automatic identification and recording of chemicals and intelligent control of storage space, efficient and safe management of laboratory chemicals is implemented. The field test results of the prototype show that the system can better authenticate the user's identity through finger vein recognition, and can also quickly identify chemicals through RFID. The system has a high degree of intelligence and a variety of functions, which can significantly enhance the laboratory's chemical management competence.

Key words: RFID; finger vein recognition; internet of things; chemical management

(责任编辑 章践立)