

# 智慧实验室管理系统设计与实现<sup>\*</sup>

陈婕卿 张 锋 朱卫国 杨文航 杨欣壮 王辰超 周 力 朱朝辉

(中国医学科学院北京协和医院 北京 100730)

**[摘要]** 结合北京协和医院实践经验,详细阐述智慧实验室管理系统架构设计、功能实现、物联网技术创新应用、系统运行情况,提出运用物联网技术和信息化手段搭建智慧实验室管理系统可进一步提升实验室管理能力和运营效率。

**[关键词]** 智慧管理;物联网;智慧实验室

**[中图分类号]** R-058 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.3969/j.issn.1673-6036.2022.08.013

**Design and Realization of an Intelligent Laboratory Management System** CHEN Jieqing, ZHANG Feng, ZHU Weiguo, YANG Wenhang, YANG Xinzhuang, WANG Chenchao, ZHOU Li, ZHU Zhaohui, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China

**[Abstract]** Based on the practical experience of Peking Union Medical College Hospital, the paper elaborates the architecture design, function realization, innovative application of Internet of Things (IoT) technology and running situation of an intelligent laboratory management system in detail, and proposes that building an intelligent laboratory management system with IoT technology and informatization means can further improve the management ability and operational efficiency of laboratory.

**[Keywords]** intelligent management; Internet of Things (IoT); intelligent laboratory

## 1 引言

2020年4月30日工业和信息化部办公厅发布《关于深入推进移动物联网全面发展的通知》<sup>[1]</sup>,鼓励各行业加速传统产业数字化转型,快速推进和发展物联网技术。2021年3月15日国家卫生健康委员会办公厅印发《医院智慧管理分级评估标准体系(试行)》<sup>[2]</sup>,指出医院智慧管理是“三位一体”智

慧医院建设的重要组成部分,应充分利用智慧管理工具提升医院管理的精细化和智能化水平。其中实验室管理对应医院运营管理和运行保障管理的范畴,应用物联网和信息数字技术助力智慧实验室管理能力提升,将成为未来重要发展趋势。2021年5月中国医学科学院北京协和医院建成转化医学国家重大科技基础设施(以下简称转化医学楼),充分发挥医院的临床资源优势,紧密围绕老龄化相关心脑血管疾病、疑难重症和罕见病等,开展多学科交叉综合合作的临床实验和科学研究。同时转化医学楼承担了基础研究成果快速向临床应用转化的任务。针对实验室资源高效利用的需求,如果沿用传统管理模式将会导致实验室共享困难、仪器闲置、重复购置、难以溯源和存在安全隐患等管理问题。因此协和医院应用物联网、信息化、智能化和数字化技术手段,为转化医学楼构建智慧实验室管理系

**[修回日期]** 2021-10-23

**[作者简介]** 陈婕卿,硕士,助理研究员,发表论文10余篇;通信作者:张锋,副处长。

**[基金项目]** 国家科技重大专项“创新药物全过程临床评价示范性技术平台建设”(项目编号:2019ZX09734-001)。

统，并积极采用先进的物联网技术实现对实验仪器和设备的精准、智能管控，促进科研活动高效开展，提高实验室运转效率。本文将从系统架构、技术方案和功能实现等方面详细阐述转化医学楼的智慧实验室管理系统建设经验，为行业内同类研究提供参考。

## 2 系统架构设计

智慧实验室管理系统用分层结构进行搭建，包括用户界面（User Interface，UI）层、业务层、数

据层和运行环境层等。UI 层由前端显示层和 UI 框架组成，前端提供 PC 端 Web 页面；业务层由业务逻辑层、业务服务层组成；数据层由数据接口层、实体仓储层组成；系统日志、权限控制的中间件模块贯穿 UI 层、业务层和数据层，提供统一日志记录服务及鉴权服务。数据资源层主要使用 MySQL 关系型数据库。系统采用浏览器/服务器（Browser/Server，B/S）架构，部署在 Windows Server 的互联网信息服务器（Internet Information Services，IIS）中，运行环境使用微软最新的 .Net Core 框架，在 Web 应用外部附带监控审计、检查更新，见图 1。

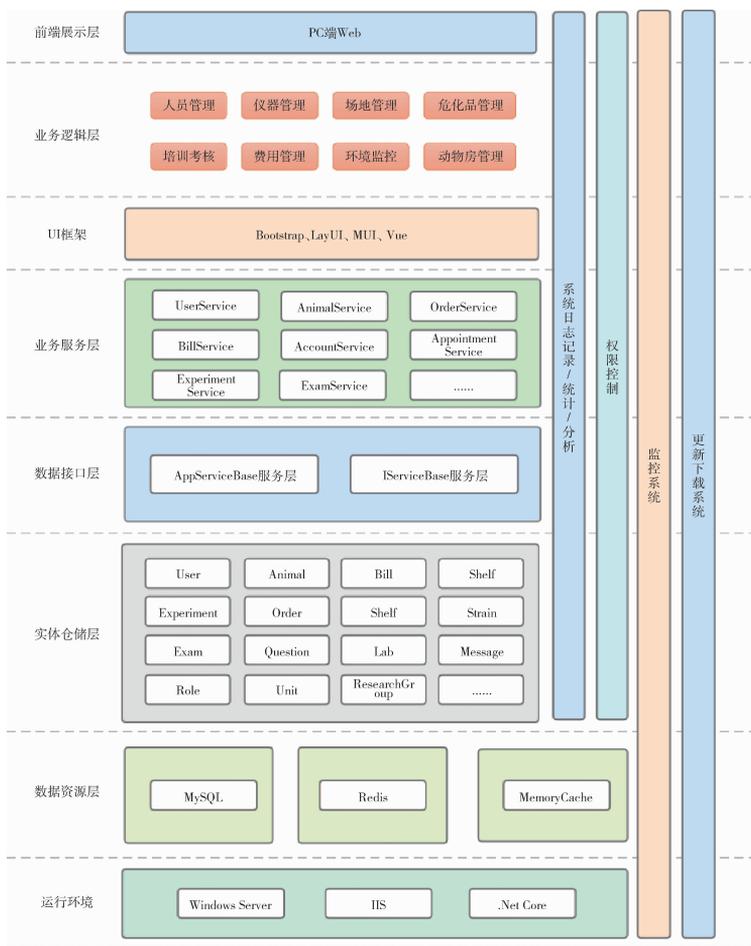


图 1 智慧实验室管理系统架构

## 3 系统功能实现

### 3.1 概述

智慧实验室管理系统的核心业务包括 4 部分：

实验室仪器管理、实验室危化品管理、实验环境监测和实验动物管理。此外还包括信息发布、场地预约、文档管理和考核管理等基础功能。系统建设在保障安全的同时提升实验室资源利用效率和共享水平，并通过物联网技术实现点对点的仪器管控<sup>[3]</sup>。

### 3.2 实验室仪器管理

针对实验室仪器和设备能够实时监测其总运行时长、运行状态、实时开关机情况、设备故障率和被预约次数等信息。通过智慧实验室管理系统、仪器控制器和物联网技术的组合应用,实现预约人员的仪器使用权限分配和使用周期设定,管理员能够实时远程开启、关闭仪器,实时设置、取消故障,并且一键同步仪器权限。另外仪器设备可设置定期维护及校准提醒功能,可根据不同时段设置不同预约策略。在数据统计方面能够统计人员的使用记录、费用明细、预约记录以及仪器使用时间、使用次数、使用时间与空闲时间占比。

### 3.3 实验室危化品管理

选用防爆储存专柜储存危化品,通过安装智能锁和应用物联网技术以软硬件结合的模式进行管理。一方面系统监控防止危化品被盗等问题的发生,另一方面在柜子底部配置漏液槽,防止液体意外流出等风险。管理方面包括数据录入、物品领取、归还和盘点4个阶段。管理人员在智慧实验室管理系统录入危化品信息,包括试剂名称、规格、存量、每次最大取用量、保质期等。科研人员取用试剂并关闭柜门时柜中读卡器自动读取并进行危化品盘点,同时记录取用的试剂名称、时间和取用人。当科研人员对危化品用后称重、放回防爆储存专柜后,系统自动记录此次操作的各项信息。放入试剂到柜子并关上柜门即视为归还成功。最后系统进行盘点,配合门禁、视频监控等管控手段实现危化品闭环安全管理。

### 3.4 实验环境监测

实验室环境要求不同于一般公共场所,环境监测的目的是保障实验正常运行,预防突发事件发生,使管理人员能及时掌握和了解实验室情况以减少损失<sup>[4]</sup>。环境监测模块由3部分组成,包括温度智能控制器、环境监测智能控制器和断电监测系统,

其中环境监测智能控制器可通过智能感知探头对有特定温湿度、气体浓度要求的实验室进行信息采集并进行数字化转换,再经由网络上传至服务中心<sup>[5]</sup>。整个流程智能、高效,无需人工干预,为实验环境监测提供可靠依据,见图2。

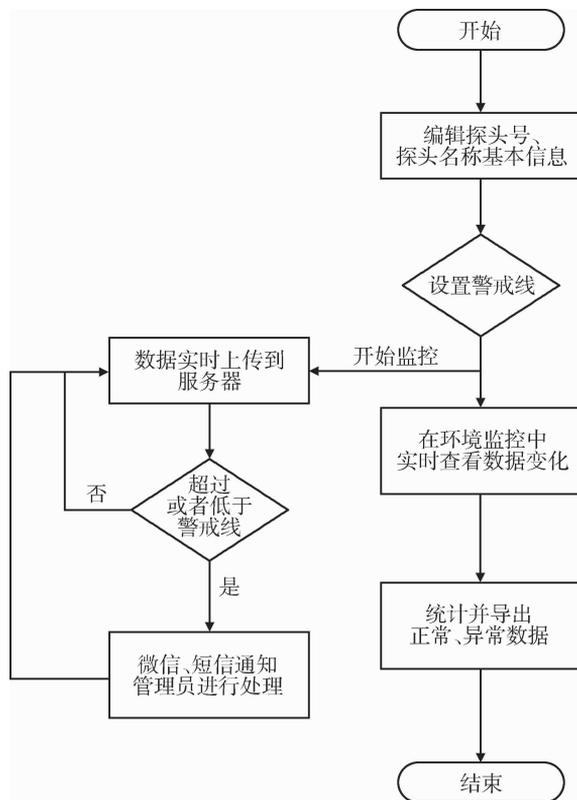


图2 实验环境监测管理流程

### 3.5 动物房管理

智慧实验室管理系统的实验动物管理模块设置主要是为解决传统管理中各环节松散、关联度低等问题,以及各类申请及审批线下处理的办公效率低下问题。核心业务流程主要包括伦理实验在线学习和培训、伦理申请和审核、实验申请和审核、笼位分配和绑定、实验预约和管理等。此外该模块具有科研人员访问使用和管理员后台统一管理功能,包括登录、预约、审核等操作;系统后台具备人员培训、实验管理、伦理审批管理、寄养喂养管理、动物生产、笼位管理等多种功能,见图3。

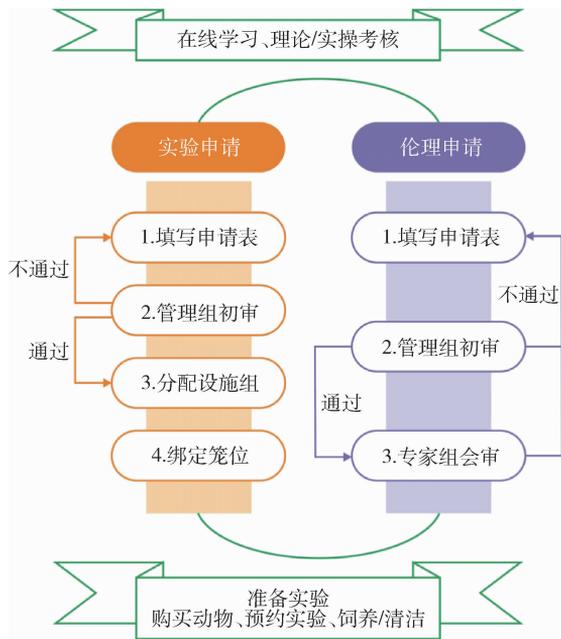


图3 实验动物管理业务流程

## 4 物联网技术创新应用

近年来物联网 (Internet of Things, IOT) 已被定位为我国新基建和战略性新兴产业。物联网的实质是泛在网络融合协同的一种网络工作模式<sup>[6]</sup>, 其由智能感应设备、传输网络和应用控制网络系统构成。本研究中的设备应用无线、有线和移动网络, 通过传输控制协议及互联网络协议 (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP) 与专用监听软件进行长连接通信, 监听软件再使用 SignalR 技术与核心服务器通信<sup>[7]</sup>。在物联网智能管理方面, 以软件和硬件结合为基础, 通过医用冷链智能管控模块、物联网仪器电源控制器、温度智能控制器、冰箱智能控制锁等 IOT 物联网控制器, 对实验人员使用情况、冰箱开关情况和温度进行监测, 实现实验室设备的智能管控<sup>[8]</sup>。本研究中采用的物联网仪器电源控制器通过仪器智能控制器开关来管控仪器电源, 具有超强抗干扰能力以及计量、控制、限制、管理等功能, 可以实现控制仪器使用权限的目的。该控制器支持刷卡识别、指纹识别和二维码控制 3 类模式, 综合以上 3 种控制方式进行智能控制器设计, 3 种模式互不干扰、互相补充, 见图 4。

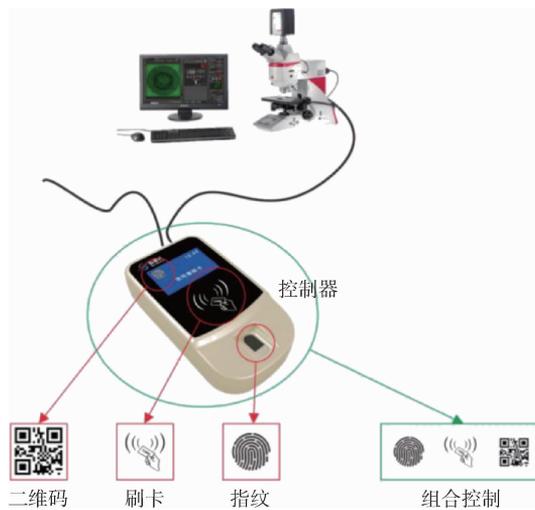


图4 物联网电源控制器应用模式

## 5 系统运行情况

### 5.1 建设情况

历经 5 个月 2021 年 3 月 4 日完成智慧实验室管理系统项目建设, 建设内容包括需求调研、系统设计、研发实施、用户培训等。在系统建设中从人员、环境、安全、仪器、数据 5 方面充分进行需求评估, 从多个纬度为科研实验室提出新的管理理念与方式, 为实验室仪器管理、实验室危化品管理、实验环境监测和实验动物管理 4 方面核心业务提供能力支撑和技术保障。

### 5.2 运行情况

自 2021 年 8 月 12 日启动智慧实验室管理系统试运行以来, 已注册用户 279 名、共享仪器 163 台、累计实验设备使用机时达 3 503 小时, 系统整体运行平稳。部署该系统前实验室仪器预约采用手工登记和电话联系方式, 部署系统后则采用线上预约模式。统计部署系统前后所需的预约工作时长并汇总,  $T_m$  代表预约所需最可能时间,  $T_o$  代表最快完成预约的乐观时间,  $T_p$  代表最慢完成预约的悲观时间, 通过三点估算法<sup>[9-10]</sup>进行评估, 估计预约所需时间  $T = (T_o + 4 \times T_m + T_p) / 6$ 。对比部署该系统前后的仪器预约所需时长, 部署系统前约为 8.17 小时, 部署系统后则仅需 1.08 小时, 工作效率显著

提升, 见表 1。智慧实验室系统的搭建不仅支撑转化医学业务和实验室资源共享, 而且将实验室管理信息化水平提升到新高度。

表 1 调查数据 (单位: 小时)

分类	$T_m$	$T_o$	$T_p$	$T$
系统部署前	6	1	24	8.17
系统部署后	1	0.5	2	1.08

## 6 结语

本研究梳理智慧实验室管理系统设计方案和管理模式, 总结物联网技术在实验室仪器管理、实验室危化品管理、实验室环境监测和实验动物管理等方面的实践经验。研究仍有不足之处, 目前数据积累情况尚不足以进行决策支持, 智慧实验室管理系统在整合数据资源的同时, 下一步工作中将实现对运行数据的自动收集和统计分析, 为实验室未来建设规划提供可靠的数据和决策支撑。智慧实验室管理系统的成功建设进一步反映了其在设备共享、便捷管理、流程优化和节约资源方面具有较好的推广意义和应用价值。智慧实验室管理系统建设是现代化智慧医院建设和医院智慧管理的重要组成部分, 为转化医学楼临床实验和科学研究提供有力保障, 未来将进一步助力转化医学实验管理的高水平、多元化和国际化发展。

## 参考文献

- 1 中华人民共和国中央政府网. 工业和信息化部办公厅关于深入推进移动互联网全面发展的通知 [EB/OL]. [2020-04-30]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-05/08/content\\_5509672.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-05/08/content_5509672.htm).
- 2 国家卫生健康委员会医政医管局. 国家卫生健康委办公厅关于印发医院智慧管理分级评估标准体系 (试行) 的通知 [EB/OL]. [2021-03-15]. <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s3594q/202103/10ec6aca99ec47428d2841a110448de3.shtml>.
- 3 郭宏. 基于物联网技术的智慧实验室架构研究 [J]. 科技展望, 2017, 27 (27): 16.
- 4 郝倩. 智慧实验室管理系统的设计 [J]. 电脑知识与技术, 2019, 15 (2): 50-52.
- 5 周春月, 闫子淇. 基于物联网技术的智慧实验室架构研究 [J]. 实验室研究与探索, 2014, 33 (5): 239-243.
- 6 聂跃光, 户晓玲. 基于物联网的实验室管理系统设计 [J]. 物联网技术, 2020, 112 (6): 104-111.
- 7 郑超英. 混合云雾计算架构在智慧实验室建设中的应用探索 [J]. 当代教育实践与教学研究, 2020, 9 (1): 13-14.
- 8 林燕奎, 熊贝贝, 王丙涛, 等. 现代智慧实验室的设计和应用 [J]. 实验室研究与探索, 2014, 33 (6): 231-234.
- 9 邓倩, 王芳, 陈俊伶, 等. 武汉市某中医院脑病科医生门诊工作量状况及适宜工作量研究 [J]. 医学与社会, 2020, 33 (12): 37-41.
- 10 陶梦野, 郝欢欢. 基于格拉布斯准则的项目活动持续时间估算研究 [J]. 项目管理技术, 2017, 15 (2): 40-43.

(上接第 55 页)

- 6 Bouvrie J. 1 Introduction Notes on Convolutional Neural Networks [EB/OL]. [2021-06-10]. <https://www.researchgate.net/publications/28765140>.
- 7 李理, 汪鹏, 左锋, 等. 医院临床决策支持系统设计与应用 [J]. 医学信息学杂志, 2019, 40 (2): 26-28.
- 8 Eom J H, Kim S C, Zhang B T. AptaCDSS - E: A Classifier Ensemble - based Clinical Decision Support System for Cardiovascular Disease Level Prediction [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34 (4): 2465-2479.
- 9 Secrest J, Zeller R. Replication and Extension of the Continuity and Discontinuity of Self Scale (CDSS) [J]. Journal of Nursing Scholarship An Official Publication of Sigma Theta Tau International Honor Society of Nursing, 2006, 38 (2): 154-158.
- 10 Tiwari P, Shah N, Samuel E, et al. Clinical Decision Support Systems [J]. International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology, 2019, 5 (2): 993-995.
- 11 Oluoch T, Katana A, R Cornet, et al. A Clinical Decision Support System is Associated with Reduced Loss to Follow - Up among Patients Receiving HIV Treatment in Kenya: A Cluster Randomised Trial [EB/OL]. [2021-06-10]. <https://www.researchgate.net/Publications/344816675>.
- 12 宋佳丽, 郑昕, 蒋立新. 临床辅助决策系统在高血压领域的评价现状和应用前景 [J]. 心血管病学进展, 2019, 40 (2): 147-151.
- 13 侯冷晨. 知识中台框架下的临床决策支持知识库构建方法 [J]. 中国数字医学 2021, 16 (3): 14-17.