

医疗物联网虚拟仿真平台设计与实现^{*}

陈秋娜 傅 蓉

(南方医科大学生物医学工程学院 广州 510515)

〔摘要〕 目的/意义 针对医院真实场景下难以开展医疗物联网实践教学的困境,设计并实现一个医疗物联网虚拟仿真平台。方法/过程 基于物联网 4 层体系架构,结合医疗行业应用,实现虚拟物联网环境下医护人员、患者与医疗设备的仿真互动。紧密结合医疗物联网实践教学内容设计平台功能,将全面感知、可靠传输、智能处理 3 大特征融入医疗过程的仿真设计。结果/结论 该仿真平台支持患者体温监测、医院药品智能分发等虚拟仿真操作,可应用于高校医疗物联网等相关课程实践教学,以提升实践教学质量,助力高质量智慧医疗卓越人才培养。

〔关键词〕 医疗物联网;实践教学;虚拟仿真平台;智慧医疗

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2024.11.013

Design and Implementation of a Virtual Simulation Platform for Internet of Medical Things

CHEN Qiuna, FU Rong

School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** In view of the difficulty in carrying out practical teaching of internet of medical things (IoMT) in the real scenario of hospitals, a virtual simulation platform for IoMT is designed and implemented. **Method/Process** Based on the 4-layer architecture of the internet of things (IoT) and combined with the applications of the medical industry, the simulation interaction between medical staffs, patients and medical equipments in the virtual IoT environment is realized. The platform function is closely integrated with the practical teaching content of IoMT, and the three features of comprehensive perception, reliable transmission and intelligent processing are integrated into the simulation design of medical process. **Result/Conclusion** The simulation platform supports virtual simulation operations such as patient temperature monitoring and intelligent drug distribution in hospitals, and can be applied to the practical teaching of IoMT and other related courses in universities and colleges to improve the quality of practical teaching and help cultivate high-quality intelligent medical talents.

〔Keywords〕 internet of medical things (IoMT); practical teaching; virtual simulation platform; smart healthcare

1 引言

随着物联网技术不断成熟,其被广泛应用于各行各业,以提高工作效率和生活水平^[1]。医疗物联网通过物联网和通信技术,将医护人员、患者以及各种医疗设备智能便捷地连接起来^[2],是解决某些医学问题

〔修回日期〕 2024-09-19

〔作者简介〕 陈秋娜,硕士研究生;通信作者:傅蓉。

〔基金项目〕 广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目。

的技术手段之一^[3]，可提高医疗服务效率和患者健康实时监护水平。例如，智能手环已具备血压监测、心率监测等多种功能^[4]，并能将这些数据传输至医生移动端，实现远程健康管理和危急值预警；医疗物资和设备的实时追踪、定位可实现医院资源的智能化管理和共享。医疗物联网在现代医疗行业中发挥着重要作用^[5]，不仅促进了医疗过程智能化、医疗信息数字化、物资管理可视化，提升了医院现代化管理效率，还为医学教育和实践带来了新的可能性。

医疗物联网是智慧医疗课程体系的重要组成部分。在高等医科院校本科生教学实践中，学生难以进入医院接触实际设备和操作环境，课堂实践教学又存在设备数量有限、硬件设备购置成本高^[6]、布线复杂等问题。近年来，仿真实验平台建设日益受到重视，逐渐应用于科学研究、教育培训、医学仿真等领域。在教育培训方面，虚拟仿真平台具有鲜明的技术优势^[7]，可为学生提供安全、实用的学习环境，提高了学生参与实验的兴趣^[8]，有效推动线上线下相结合的混合式教学模式的开展^[9]。

目前国内虚拟仿真平台中，与物联网相关的主要为智能家居、仓储物流、环境监测等领域的建模和仿真，与医疗领域结合的虚拟仿真平台相对较少。因此，本文设计并实现了一个医疗物联网虚拟仿真平台，用户不仅可以在虚拟环境中学习医疗物联网相关知识，还能将该技术延伸至医疗场景，进行患者体温监测、母婴出入口身份识别、医院药品智能分发等智能化操作的模拟，有效解决了实验教学中硬件采购成本高、线下传统教育方式枯燥^[10]、后期维护难度大等问题。

2 平台设计：目标与原则

2.1 设计目标

基于物联网技术，整合无线局域网（Wi-Fi）、蓝牙等无线网络设备，将医疗设备和传感器模块等相互连接^[11]，开发具有仿真功能、与智慧医疗密切相关的虚拟环境。可基于该平台进行患者健康管理、医疗物资管理、医疗过程管理等流程的虚拟仿真，见图 1。

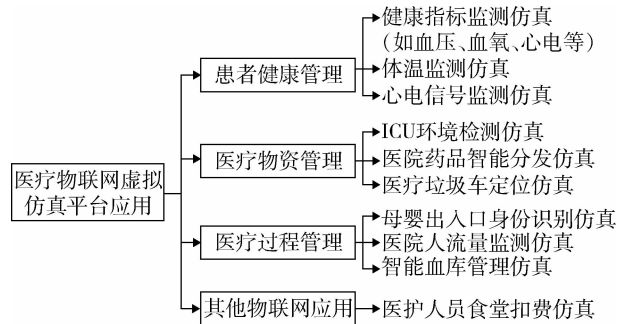


图 1 医疗物联网虚拟仿真平台应用

2.2 设计原则

2.2.1 易于执行和可扩展 用户可以从已有模块中选择对应模块进行组合，复现各案例，也可根据实际需求在已有功能模块的基础上增添新内容，设置新增模块属性，建立模块间联系，达到增加新功能的目的，以适应医疗物联网的不断发展和创新。

2.2.2 实现虚实结合 通过接口编程技术，该平台能够与外部硬件设备连接，进而将虚拟环境与实际硬件部分相结合。用户能够利用外部传感器等实际硬件模块获取相关数据，并将其显示在虚拟仿真平台上，实现虚实结合功能。

2.2.3 应用于教学实践 该平台将应用于高校医疗物联网相关课程教学实验，在特定情况下代替传统实验教学模式，突破时空、硬件、场地限制，使教学过程更加便捷，为医疗物联网领域的教学和研究提供新的可能性，培养学生的创新能力和解决实际问题的能力。

3 功能模块设计

3.1 传感器模块

传感器模块主要包括温度传感器、湿度传感器、心率传感器等，用于模拟监测生理参数的情况。在平台仿真过程中，以温度传感器为例，需要模拟温度传感器所采集到的温度数据，反映实际环境中可能出现的温度变化。用户可以对静止的温度传感器进行操作和监控，包括设定传感器参数、调整仿真环境温度条件以及观察传感器数据变化等。

3.2 射频识别模块

射频识别（radio frequency identification，RFID）是一种非接触式自动识别技术^[12]。RFID 系统主要由阅读器、电子标签及应用软件系统 3 部分组成。平台通过仿真 RFID 系统的 3 部分，结合标签识别的工作原理及工作频率，实现低频、高频和超高频 3 个频段的模拟识别。

除了基本的 RFID 标签读写功能外，平台还设计了一些医疗场景的 RFID 应用案例，如母婴出入口身份识别、医护人员打卡、药品智能分发等。这些案例利用不同频率的 RFID 标签与读卡器进行无线通信，将读卡器获取的标签信息传入后台功能软件进行智能处理和分析。

3.3 网络层通信模块

目前市面流行的智能医疗产品，如智能手环、可穿戴心电监护仪、血氧仪等，大多采用蓝牙和 Wi-Fi 进行无线组网和数据传输。仿真平台的网络层主要对蓝牙及 Wi-Fi 通信协议进行仿真，通过模拟这些通信协议的工作机制和通信过程，用户可以了解不同模块之间的数据传输方式、通信规则和数

据格式。此外，平台还可以模拟模块之间的网络拓扑，有助于用户了解医疗物联网中模块之间的通信路径和网络拓扑结构。

3.4 模拟器模块

模拟器用于模拟传感器所感知参数的变化，并与传感器模块通过节点连接在一起，显示传感器获得的动态数据。仿真平台设计的模拟器主要包括温度模拟器、湿度模拟器、人体模拟器等。例如，在患者体温监测的仿真过程中，温度模拟器可以与温度传感器通过节点连接在一起，模拟显示人体体温变化；湿度模拟器用于模拟病房内的湿度水平；人体模拟器则用于医院门口人流量统计仿真过程，实时显示人流量数据。

4 平台整体架构

4.1 平台设计框架

依据物联网 4 层体系结构搭建仿真平台整体框架，主要包括感知层、网络层、处理层和应用层^[13]，见图 2。各功能模块的虚拟仿真过程均围绕这几个层次进行，以实现医疗设备和人体可穿戴传感器的协同感知^[14]。

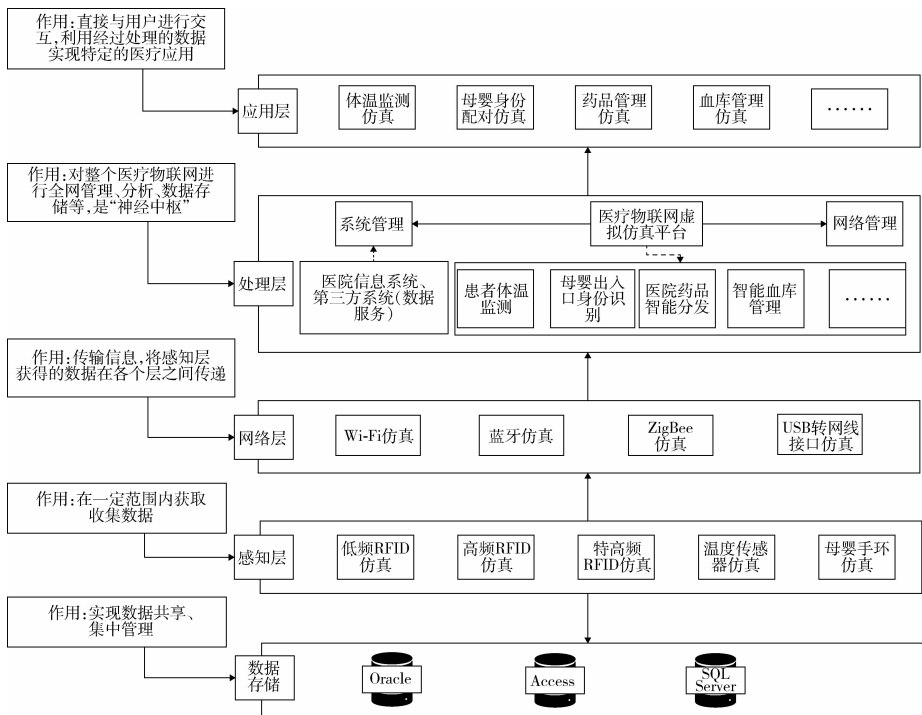


图 2 医疗物联网虚拟仿真平台整体框架

4.2 软件界面

基于微软可视化开发平台 Visual Studio 2018、C++、C#语言, 结合 Access、Oracle 数据库, 设计并实现 3 层 C/S (Client/Server) 架构下的医疗物联网虚拟仿真平台。用户注册登录后进入平台主界面, 主界面分为 4 部分: 模块库、属性区域、仿真设计区域和仿真测试区域, 见图 3。



图 3 平台主界面

4.2.1 模块库 按照物联网底层感知和无线通信的类别展示硬件仿真模块, 主要包括 RFID、Wi-Fi、蓝牙、电源、模拟器、Android 等。用户可以选择所需模块, 用鼠标拖放至仿真设计区域, 进行虚拟仿真过程。

4.2.2 属性区域 用于配置和展示仿真过程中使用的各硬件模块和无线网络的属性参数, 如串口配置、工作模式选择、网络协议设置、IP 地址分配等, 使各模块之间能够相互通信并建立联系。

4.2.3 仿真设计区域 将所需模块放置在此区域后, 可通过代码设计网络拓扑结构的连接方式, 模拟在不同传输介质 (Wi-Fi、蓝牙等) 中数据传输和存储的过程; 此区域内还可根据属性设置建立模块之间的关联。

4.2.4 仿真测试区域 用于实现仿真功能, 与用户直接交互。在运行之前, 用户应检查仿真设计区域中各模块的属性设置和接线是否正确。通过连接虚拟设备, 用户可以开启和控制虚拟仿真过程。部分仿真结果也会展示在此区域。

4.2.5 软件运行区域 用于管理案例, 用户根据仿真设计区域中用到的模块选择要运行的案例, 也可以基于已有模块进行扩展, 对相关代码进行再编

写, 设计新的、相关的实验和应用场景。

5 结果

5.1 虚拟仿真过程

目前, 平台已实现患者体温监测、医院药品智能分发、母婴出入口身份识别、智能血库管理、心电信号检测等虚拟仿真案例。

5.1.1 仿真案例简述 在患者体温监测案例中, 虚拟仿真平台能够模拟医院内发热患者的体温变化过程, 并在平台上实时显示体温数据, 一旦体温超过预设阈值, 系统会立即发出预警提示。医院药品智能分发案例则通过平台模拟医院内药品的智能化管理, 包括药品库存管理、医生诊断、药房配药、患者信息核实及药品分发等关键环节。母婴出入口身份识别案例模拟了低频、特高频 RFID 标签与对应读卡器的识别流程。母婴智能手环融合低频和特高频 RFID 标签, 将母婴信息绑定在特高频 RFID 标签中, 当手环进入病房出入口的低频 RFID 检测范围时, 低频标签被唤醒并开始高频通信, 实现远距离数据传输, 快速传递母婴身份信息供工作人员识别, 可有效防止婴儿被错抱。智能血库管理案例通过身份识别和 RFID 技术模拟血液采集点的流程, 包括捐献者信息登记、血液信息管理及出入库管理。通过虚拟仿真平台, 用户可以实时查看血库的库存信息, 以便及时补充库存。心电信号监测案例则设计了与心电信号监测硬件模块功能相对应的仿真模块, 使学生在进行实际硬件操作前能够通过平台进行预实验, 观察各波形的特点并分析异常波形出现的原因, 从而减少实际硬件操作过程中的失误。

5.1.2 患者体温监测 患者体温监测是通过医疗物联网虚拟仿真平台对医院内发热患者的体温监测流程进行仿真的过程, 仿真过程用到的模块包括电源、Wi-Fi 无线路由器、蓝牙温度传感器、蓝牙主机、蓝牙转 Wi-Fi 网关、温度模拟器等。在感知层仿真中, 通过控制温度传感器的加温与降温来模拟患者的温度变化。网络层仿真涉及对 Wi-Fi 模块的属性设置, 确保感知层硬件模块 IP 与 Wi-Fi

处于同一网段，并通过显示通信连接来模拟网络连接过程。处理层仿真通过蓝牙主机将从蓝牙温度传感器接收的数据传输到平台处理单元。应用层仿真通过运行程序来测试功能，模拟患者的体温监测过程。当体温异常（ $>37.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）时，系统会主动发出预警提示，并将温度数据记录到后台数据库中。在教学实践中，硬件设计方面，可按照仿真设计图选择相应硬件设备进行组装；软件设计方面，除了进行既有案例仿真，还可以患者体温监测为基础，对相关代码进行再编程，开展其他相关仿真设计，如病房内温湿度监测与控制、远程患者健康监测等。

5.1.3 药品智能分发 药品智能分发虚拟仿真是通过平台模拟医院内药品的智能化管理流程，涵盖药品库存管理、电子处方生成、药房配药、患者信息核实及药品分发等多个核心环节。在药品库存管

理仿真中，主要模拟药品的自动识别和信息录入、药品出入库流程^[15]以及药品质量控制等。仿真过程主要使用电源、Wi-Fi 无线路由器、特高频 RFID 读卡器、特高频 RFID 标签、人体身份识别器、人体模拟器等模块。在感知层仿真中，通过移动贴在药品上的特高频 RFID 标签与特高频 RFID 读卡器接触，实现药品信息的录入与读取；当标签移出读卡器识别范围时，则模拟药品出库功能。网络层仿真通过设置 Wi-Fi 模块属性，将感知层硬件模块的 IP 与 Wi-Fi 置于同一网段，并通过显示通信连接来模拟网络连接过程。处理层仿真将所获取标签中的药品信息传输至后台数据库进行存储。应用层仿真通过运行程序进行功能测试，实现药品信息录入、出入库管理、过期提醒、库存数量监测、补货订单自动生成、电子处方开具及药品发放等多种功能的仿真，仿真流程，见图 4。

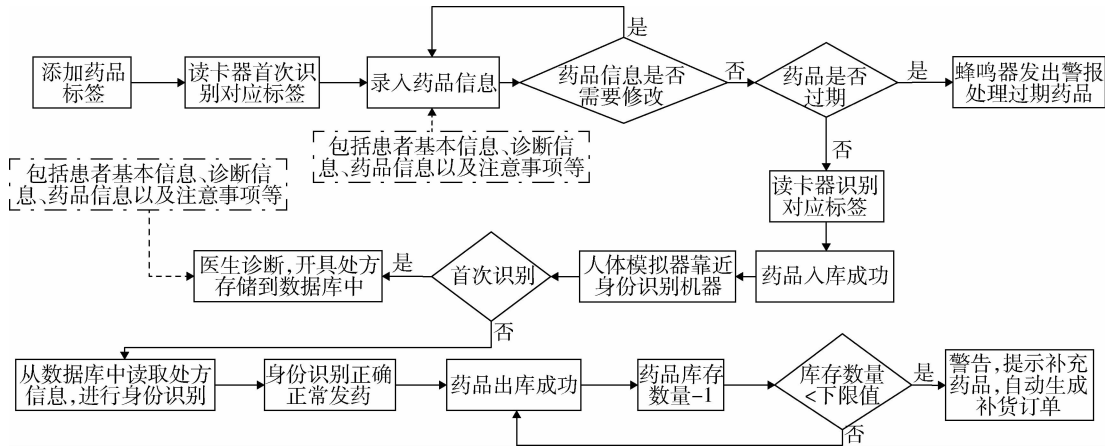


图 4 药品智能分发仿真过程

这些模块协同工作，实现了对药品智能分管理流程的模拟与监控，为提升医院药品管理效率与质量提供了重要支持。在教学实践中，学生可依据仿真设计图组装硬件设备，利用不同的 RFID 标签和读卡器来识别患者身份及药品出入库操作。将 RFID 读卡器连接到微控制器的输入端口，并编写代码以读取 RFID 标签的数据，通过 Wi-Fi 通信模块发送和接收数据。此外，在药品智能分发仿真的基础上进行延伸，还可以设计如患者用药提醒与监控、药品配送追踪等仿真流程。通过教学实践，学生能够更深入地理解物联网技术在医疗领域的实际

应用，从而培养学生的动手能力和创新能力。

5.2 虚实结合过程

虚实结合是指在虚拟仿真的基础上，将仿真平台与物联网实训套件的硬件进行连接与交互。以药品智能分发的虚实结合过程为例，本研究采用了校企联合设计研发的物联网实训套件中的硬件模块，主要包括 Wi-Fi 无线路由器模块、特高频 RFID 模块、特高频 RFID 卡以及电源等组件。硬件端通过无线方式组网后，利用 USB 转串口线将特高频 RFID 模块与电脑连接，随后使用自带的串口配置

工具配置硬件模块的属性, 以确保其能够与虚拟仿真平台顺利连接, 从而实现智能药品分发的虚实结合。当仿真平台与真实硬件模块连接时, 系统选择切换到虚实结合运行模式。此时, 操作者将特高频 RFID 标签靠近读卡器, 若该药品标签尚未被录入系统, 平台将在提示框中显示该药品标签为新药品, 并要求用户录入新药品的相关信息, 该过程结果与仿真结果一致。

在实践教学中, 学生可以通过该平台在虚拟环境中直观地进行模拟实验, 也可以通过平台实现虚拟仿真与实物硬件电路的映射^[16], 加深对医疗物联网的理解, 提高学习的灵活性和便利性。

6 结语

本文设计并实现了一款医疗物联网虚拟仿真平台, 可利用各模块实现基于物联网技术的医院智能监测与管理仿真流程, 有效弥补了医疗物联网实践教学中学生动手机会少的不足。通过患者体温监测和医院药品智能分发两个仿真实例, 验证了平台的有效性和仿真结果的可靠性。该平台不仅能够执行纯软件的虚拟仿真流程, 还能实现与实际硬件设备连接的虚实结合过程。此外, 平台具备良好的扩展性, 可以根据实际需求增添新的功能。将此平台应用于高校教学环节中, 辅助医疗物联网等相关课程的实践教学, 突破了传统实验教学模式在时间和空间上的限制。但目前已实现的仿真案例相对较少, 应用范围较小, 新增功能时代码修改比较复杂。后续研究可以尝试将平台应用到更多相关领域。

作者贡献: 陈秋娜负责实验设计、功能实现、论文撰写; 傅蓉负责实验设计、论文修订。

利益声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 刘英军, 罗洋, 杨钰均, 等. 面向医疗物联网的匿名认证协议 [J]. 计算机科学, 2023, 50 (8): 359-364.
- 2 万振, 邱丹, 刘元喆, 等. 国内医疗物联网技术发展及

- 应用现状 [J]. 医疗卫生装备, 2020, 41 (11): 82-86, 102.
- 3 曾红武, 戴书球. 医疗物联网: 慢性病智能生命体征监测 [J]. 医学信息学杂志, 2023, 44 (2): 58-63.
- 4 董仁静. 基于智能手环的孕妇远程健康诊疗干预系统设计 [J]. 中国科技信息, 2020 (22): 49-50.
- 5 GULRAIZ J J, RAO M L, AFTAB F, et al. Internet of medical things (IOMT): applications, benefits and future challenges in healthcare domain [J]. Journal of communications, 2017, 12 (4): 240-247.
- 6 崔业梅. 虚拟仿真在线实验实训建设的研究——以物联网应用技术专业为例 [J]. 软件, 2021, 42 (5): 25-28.
- 7 苏文星, 郑琰莉, 宋元涛. 元宇宙在医疗领域应用研究 [J]. 医学信息学杂志, 2023, 44 (4): 17-21, 57.
- 8 赵元淑, 许小洋. 教学实践中机能虚拟仿真实验平台的发展与完善 [J]. 医学理论与实践, 2021, 34 (9): 1611-1613.
- 9 苑春苗, 张靖林, 丁世勋, 等. 基于虚拟仿真平台的线上线下混合式教学研究 [J]. 高教学刊, 2024, 10 (2): 41-44.
- 10 王钻文, 刘子鹤, 史硕博. 新工科视域下生物工程专业教学与人才培养探索 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2023, 48 (2): 111-118.
- 11 ALSHEHRI F, MUHAMMAD G. A comprehensive survey of the internet of things (IoT) and AI-Based smart healthcare [J]. IEEE access, 2020, 9 (6): 3660-3678.
- 12 任斌, 黄陆光, 杨喆, 等. 物联网技术在隔离病房中的应用研究 [J]. 中国医疗器械杂志, 2021, 45 (3): 266-270.
- 13 LI L. Real time auxiliary data mining method for wireless communication mechanism optimization based on internet of things system [J]. Computer communications, 2020, 8 (160): 333-341.
- 14 潘琛. 融合 5G 网的智慧医疗物联网关键技术研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7 (3): 121-124.
- 15 郭小磊, 王雅. 社区卫生服务站药品出入库管理系统的设计与实现 [J]. 新型工业化, 2021, 11 (3): 25-26, 40.
- 16 吴蓬勃, 张金燕, 王拓, 等. 基于虚实结合的智能小车设计 [J]. 电子制作, 2023, 31 (9): 33-35, 55.