多模态医护感控行为监测系统设计和实现

黄 昊 史森中

（陆军军医大学大坪医院信息科 重庆 400042）

〔**摘要**〕 分析感控防护工作现状，详细阐述多模态感控行为监测一体化信息系统设计、应用情况，指出该系统可保证防护效果、降低感染风险，进一步加强医务人员感染风险行为防护能力和效果。

〔**关键词**〕 新型冠状病毒；医务人员；感控监测

〔**中图分类号**〕R－056 〔**文献标识码**〕A 〔**DOI**〕10.3969/j.issn.1673－6036.2021.02.015

Design and Realization of Multimodal Infection Control Behavior Monitoring System for Medical Staff

HUANG Hao, SHI Senzhong, Department of Information, Daping Hospital, Army Medical University, Chongqing 400042, China

〔**Abstract**〕 The paper analyzes the current situation of infection control and protection, expounds the design and applications of multimodal infection control behavior monitoring integrated information system in detail, and points out that the system can guarantee the protective effect and reduce the risk of infection, and further strengthen the protective ability and effect of the infective risk behaviors of medical staff.

〔**Keywords**〕 COVID－19; medical staff; infection control monitoring

1 引言

2020 年初我国暴发新型冠状病毒肺炎疫情。由于目前尚无针对性药物可以预防感染且病毒传播途径复杂多样[1]，在治疗护理患者时医务人员应严格做好生物防护、减少暴露以降低感染风险。资料显示医护人员穿脱个人防护装备时发生暴露问题几率较高，说明其在执行和落实防护措施方面存在隐患。传统医务人员感控防护主要由感控科医师现场指导和干预，造成更多医务人员暴露于感染隔离区域，增加交叉感染风险[2]。本文设计多模态医护感控行为监测系统，可有效减少医务人员感染风险。该系统具有小型化、便携化等特点且能够在远程非接触状态下帮助医护人员及时做好自身安全防护、规避职业暴露风险，可实现安全防范提示、暴发预警、隔离阻断、人机互动等功能以及多模态监测反馈作用，为医护人员安全健康保驾护航。

2 多模态医护感控行为监测系统总体设计

多模态感官显示技术应用加快了相关领域研究发展[3]。该技术应用于医务人员感染行为防范监测领域，可提供视觉、听觉等多层次刺激及可叠加的多重验证保护，为医务人员职业暴露防护提供新模式、方向。系统包括两部分：一是射频识别（Radio Frequency Identification，RFID）模块防护套装；二是面向界面的可视化信息监测系统，见图 1。防护

〔**修回日期**〕 2020－07－21

〔**作者简介**〕 黄昊，高级工程师，发表论文 30 余篇。

套装系统从医务人员防护服穿戴流程开始进行智能监测，进入感染隔离区域后通过感染行为视频监测信息系统进行二次干预和阻断。该防护套装内设计了穿戴监测装置以对穿戴状态进行检测，当出现穿戴遗漏、步骤错误等异常行为时，该装置将异常信号发送至外部射频接收模块上报，以确保正确穿戴防护套装，保证防护效果、降低风险，见图 2。视频监测信息系统通过无线信号触发模块可及时监测医务人员是否进入感染隔离区，远端监控工作人员可通过摄像头实时观察医务人员行为和穿戴状态，当不符合规范时能够及时提醒，降低医务人员感染风险，见图 3。

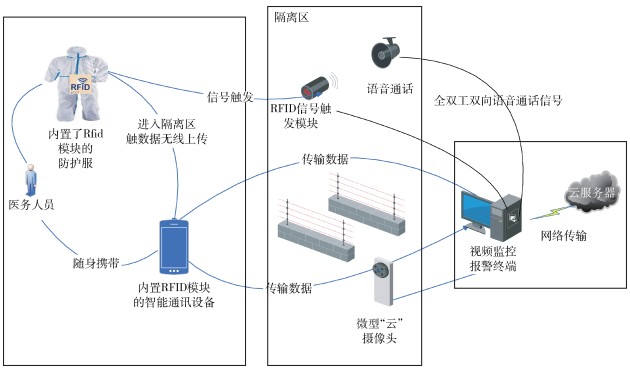

图 1　系统总体设计

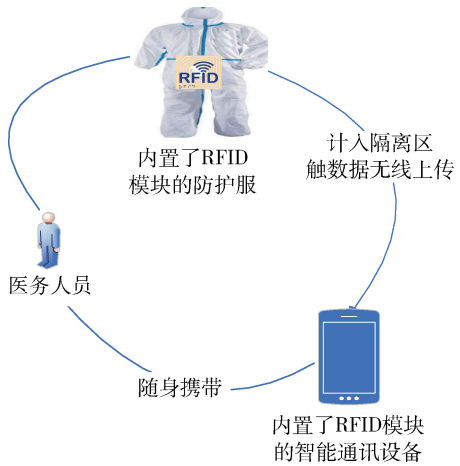

图 2　RFID 无线射频识别模块防护套装

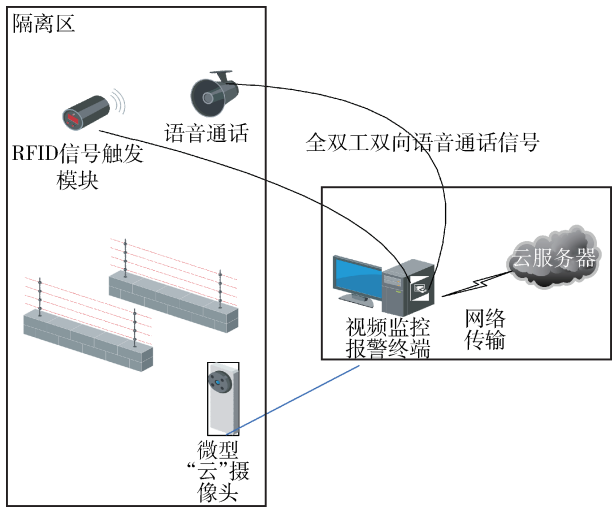

图 3　面向界面的可视化信息监测系统

3　无线射频穿戴正确识别防护套装设计

3.1　总体设计

包括防护服本体、本体内穿戴检测装置以及 RFID 射频发送模块。穿戴检测装置输出端与射频发送模块输入端连接，射频发送模块输出端与外部射频接收模块输入端无线连接。防护套装设有 RFID 穿戴监测装置以监测穿戴情况，可针对穿戴遗漏、步骤错误等异常情发送异常信号至外部射频接收模块进行上报。

3.2　物联感知层

3.2.1　总体设计　防护套装本体包括穿戴于人体各部位的多个传感器，防护套装内设置 RFID 穿戴传感器，其输出端分别与处理单元穿戴信号输入端连接，处理单元上报信号输出端与射频发送模块输入端连接。穿戴监测装置能够客观地对各分部穿戴遗漏等异常情况进行有效监测，准确性高且硬件结构简单易实施。

3.2.2　连接件　防护服整体或各分部之间、分部自身开口处设有连接件，全部或分部连接件末端设有连接到位传感器。连接到位传感器输出端分别与

处理单元到位信号输入端连接，其主要作用是进一步对分部之间和分部上的开口连接状态，以及套装本体破损、上衣拉链未拉满、穿戴不规范导致的套装本体与外部环境有“豁口”等情况进行有效检测，及时报警提醒穿戴者更换防护套装，同时上报给监控终端。

3.2.3　实现原理　穿戴传感器优选但不限于人体体温传感器、湿度感应传感器以及压力传感器等。上衣、裤子、手套、帽子等分部内表面设置夹层并安装温度传感器。当医务人员穿戴该分部时，温度传感器输出比未穿戴前更高的温度信号，或者人体感应传感器感应到人体输出感应信号；在口罩内设置透气夹层并安装湿度传感器，当戴上口罩时人体呼吸使得口罩内湿度增加，进而导致湿度传感器输出湿度信号变化，以此判断是否佩戴口罩；在眼罩的耳廓支架内表面设置压力传感器或温度传感器；鞋底部设置压力传感器可感知穿鞋前后压力变化。温度传感器优选但不限于为 Si7051；压力传感器优选但不限于选择压敏电阻；湿度传感器优选但不限于选择 Honeywell 公司的 HIH－3602、HIH－3605 或 HIH－3610 型[4]。

3.2.4　实施方式　处理单元优选但不限于单片机、ARM 等微处理器，其采集各穿戴传感器输出的穿戴信号。如果所有穿戴传感器均输出信号则认为无遗漏分部、穿戴符合规范，反之则认为穿戴不符合规范。防护套装全部或部分分部之间、分部开口处设有连接件，在全部或部分连接件末端设有连接到位传感器，其输出端分别与处理单元到位信号输入端连接。连接件可设置在衣帽本体前后或侧部开口处，还可设置于上衣与帽子之间等部位。连接件优选但不限于拉链、粘扣等。连接到位传感器优选但不限于压力传感器，压力传感器可选择现有压敏电阻产品。当拉锁至末端时，拉锁将对压力传感器实施压力，压力传感器可预埋在连接件末端衣帽本体内，有利于加固安装；或者压力传感器预埋在最末端粘扣内表面，当穿戴者粘接最末端粘扣时，压力传感器会接收到按压力或拉力变化。以此提高对不规范穿戴检测的准确性，减小感染风险。

3.3　数据传输层

3.3.1　概述　射频发送模块优选为 RFID 发送模块、WiFi、4G/5G 模块等。RFID 发送模块可选择用于射频识别的电子标签，为增大射频识别距离可选择中高频段 RFID 标签，其频率范围为 3～30MHz。或者选择超高频 RFID 标签，其典型工作频率范围一般为 433.92MHz、862（902）～928MHz、2.45GHz 或 5.8GHz 等[5]；优选但不限于选择高特电子公司的 860～960MHz 超高频 Gen2、2.45GHz 有源 RFID 标签等。

3.3.2　总体设计　穿戴检测装置将穿戴者的穿戴状态通过射频发送模块及时上报外部监控端。穿戴检测装置优选但不限于套装本体的内表面、口袋、外表面等。套装本体包括穿戴于人体各部位的多个分部，而穿戴检测装置包括处理单元以及设置于每个分部上的穿戴传感器，穿戴传感器输出端分别与处理单元穿戴信号输入端连接，处理单元上报信号输出端与射频发送模块输入端连接；处理单元接收各穿戴传感器发出的穿戴信号后判断是否所有穿戴传感器输出信号，如果是，则发送穿戴规范信号至射频发送模块输入端，反之则发送穿戴不规范信号，见图 4。

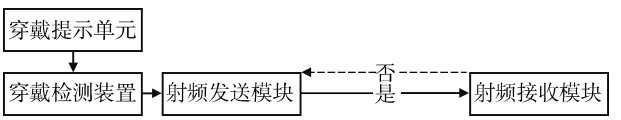

图 4　RFID 防护服防护流程

3.3.3　穿戴检测装置硬件连接（图 5）　包括 n 个穿戴传感器，m 个连接到位传感器，处理单元包括第 1 比较器、第 2 比较器……第 n 比较器、第 $n+1$ 比较器、第 $n+2$ 比较器……第 $n+m$ 比较器，以及第 1 参考电源 Ref1、第 2 参考电源 Ref2 和与门。处理单元优选但不限于安装在上衣内部。当所有分部被穿戴后，所有穿戴传感器分别输出高电平至 1～n 比较器的正向输入端，且当连接件穿戴到位后所有连接到位传感器分别输出高电平至第 $n+1$ 到 $n+m$ 比较器的正向输入端，第 1 比较器、第 2

比较器……第 $n+m$ 比较器分别输出高电平至与门，与门输出高电平（穿戴规范信号）至射频发送模块输入端，表明所有分部均被穿戴且连接件连接到位、穿戴规范；若部分穿戴传感器和/或部分连接到位传感器未输出高电平则与门输出低电平至射频发送模块输入端，表明某些分部未穿戴和/或部分连接件未连接到位、穿戴不规范。在本实施方式中全部或部分穿戴传感器和连接到位传感器与处理单元采用无线或有线连接。当无线连接时优选处理单元还包括设于各传感器端的无线发射单元和处理单元端的 1 个或多个无线接收单元，无线接收与发射单元可 1 对多或 1 对 1 连接；各传感器输出端分别与对应无线发射单元输入端连接，无线发射单元输出端与无线接收单元输入端无线连接，无线接收单元输出端与对应比较器正向输入端连接；无线接收单元和无线发射单元优选但不限于采用现有 WiFi、4G/5G 模块。

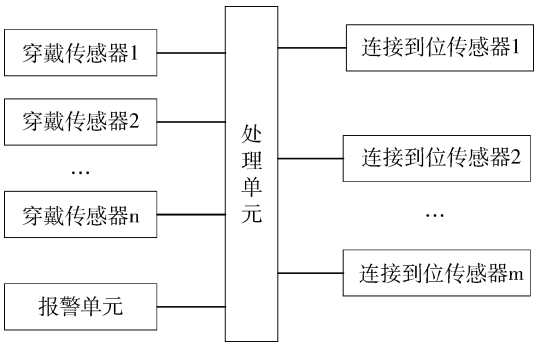

图 5　RFID 防护服穿戴检测装置硬件框架

4　医务人员感染行为防范视频监测平台设计与实现

4.1　总体设计

医务人员通过 RFID 防护服自动监测和穿戴确认后即可进入感染隔离区。隔离区感染行为监测系统主要由视频监控终端、“全双工”通话报警设备、内置 RFID 模块的智能通讯设备、云监控摄像头设备等软硬件组成。

4.2　实现方式

当医务人员进入感染隔离区，防护服内置 RFID 信号发送模块触发隔离区内信号感知模块，即时启动智能通讯设备语音通信以及视频通话功能，同时上传相应信号到视频监控报警终端，提示终端工作人员进行安全监视监测。在医护人员穿梭于隔离病区过程中，监控端工作人员严密监测医务人员行为，一旦发现职业暴露等感染风险（包括洗手不规范、消毒不规范不彻底、防护服穿戴不规范、手套佩戴不规范、各类防护用具脱落等），监控端立刻通过语音通话以及报警功能警示医务人员（包括语音广播、智能通讯设备实时视频通话）。监控终端语音报警是监控系统的重要环节，当监控端发现安全风险事件，即发出警报提示并通过双向语音及视频通话告知医务人员，可二次降低医护人员感染风险，同时减轻医护人员照看患者的工作量，见图 6、图 7。

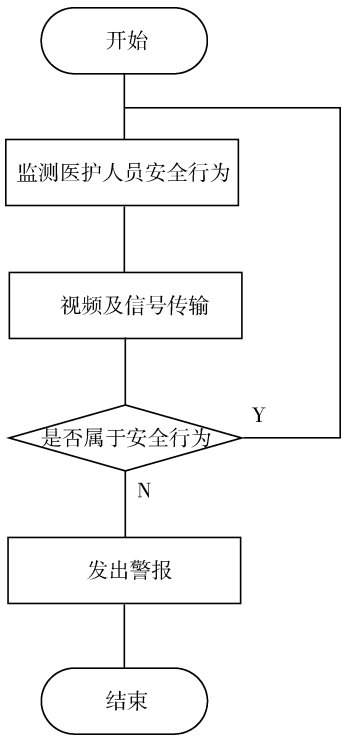

图 6　终端报警流程

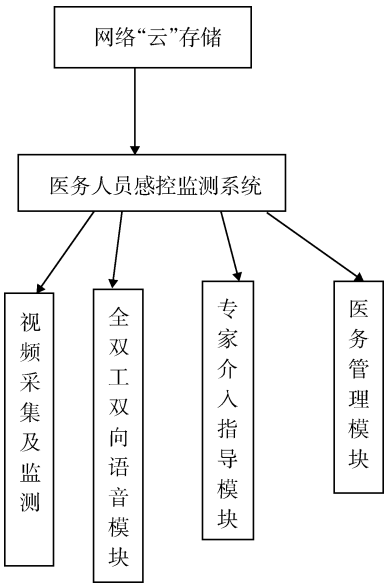

图 7　感染行为防范监测终端主要功能模块

4.3　视频采集及监测

视频监控终端在实现视觉监控模型架构上，以 RGB－D 视频人体行为识别接口为基础，实现多模态行为渲染显示与坐标变换[6]，在 RGB－D 中构建平衡的视觉影像模型，在感染隔离监控区域内设置和确定智能云摄像头相对位置。通过该平台监测（监控）输出结果，证明检测平台的渲染质量、成像效果是否达到理想要求，监测影像渲染速率是否满足全双工智能通讯设备交互操作需求，是否表现出良好交互性能。使用数学建模方法，对全双工视频语音视觉输出影像模型资料进行云端存储，最终实现多模态监测。远端（终端）监控工作人员及督导专家可通过微云摄像头视频监控，发现职业感染情况，主要包括医务人员是否正确穿戴防护服、防护服穿戴时间是否过长、两侧衣襟叠压是否规范、双层手套同色或内外颜色颠倒、洗手消毒时间不够、泡靴时间过短、脱衣程序不规范等问题，以及是否存在长期穿戴防护衣物引起的缺氧、呼吸不畅甚至窒息，导致医护人员在脱防护衣过程中非自主速度加快等。该功能模块可实现对医务人员感染行为的多重监测防护。

4.4　全双工双向语音模块

可实现全双工双向语音模块对讲。感染隔离区包含多个麦克风和喇叭，分别布设于各子区内。远端督导组专家及值班医护人员通过视频实时观测到隔离区医务人员出现不规范操作或穿戴时，可使用全双工双向语音系统进行提醒，帮助其及时纠正问题并采取必要补救措施，实现医务人员零感染。

4.5　专家介入指导模块

在云服务器及监控主机上存储医务人员操作指导视频及音频文件，通过智能通讯设备即可访问。由于医务人员在佩戴护目镜、防护面屏、双层手套等情况下进行操作，严重影响视线和手的灵敏度，加之患者衰弱、血管不充盈等因素[7]，可能导致医务人员穿刺动作视觉上变形、手感消失，产生厌烦情绪、挫败感，进而因为动作幅度过大造成手套被血液、体液污染等问题。对此需要提供有效指导、操作规范教学以及关怀，增加医务人员自信心，提高其操作准确性、有效性，提升安全防护水平，降低感染风险。针对上述情况该功能模块在监控端设置了麦克风与语音设备，采用并联设计，实现督导专家远程语音、视频操作指导。

4.6　医务管理模块

包含传染病初报、传染病患者信息审核查询及数据统计、医务人员排班等功能。根据医务人员职责不同，系统管理员为其开放相应权限并分配用户名及密码。在感染隔离区工作时医务人员除需了解患者年龄、性别等基本情况，还需迅速掌握患者既往病史，特别是与传染源的接触情况等。医务人员可以通过用户名及密码登录该功能模块，根据患者 ID 号迅速查询、掌握上述讯息并及时上报患者情况。此外可通过对隔离区域医务人员健康情况定期统计和分析进行合理排班。

5　初步应用

5.1　应用概况

多模态医护感控行为监测系统目前已实现部分功能，在此次新冠肺炎疫情期间投入到火神山医院、泰康同济医院以及北京、重庆等地区定点医院

中使用，得到一线医务人员较好的反馈。

5.2 系统抗风险能力强

RFID 无线射频、4G/5G 移动网络[8]、视频监控、全双工语音通讯等技术设置过程简单、费用较低廉、容易掌握、比较成熟。系统设计充分重视高内聚、低耦合的整体需求，即系统各部分都是相对独立的部分，可以随时替换和移除。因此系统某部分在被病毒/细菌污染、无法充分消毒或损坏的情况下，均可以快速进行替换或移除，而不影响整体性能。

5.3 各项功能可独立应用

多模态医护感控行为监测系统由 RFID 防护服以及视频监控平台构成，可在完成自动检测医务人员穿戴行为之后，再次通过视频监控端进行人工干预，两项功能也可各自独立使用。医务人员可通过智能通讯设备 24 小时在线下载所需视频音频文件，自助学习及掌握相关操作，不受时间和场地限制，让多模态检测和防护由理论成为实践[9]，为实现医务人员零感染提供可能。

5.4 医务管理模块有助于提高医疗质量和效率

系统功能模块可根据患者治疗情况、病情周期等快速进行数据统计和分析并上报国家卫生防控部门，避免纸质上报表格存储不便、修改困难、提交过程周期长、容易遗失等弊端。通过合理排班让每位医务人员在有限时间内得到充分休息，提高其抗压能力，防止免疫力下降，保障医务人员医疗质量和工作效率。

6 结语

多模态医护感控行为监测系统实现对医务人员进入隔离区前防护服穿戴及进入隔离区后行为安全问题的防护和监测。由于本系统中涉及的数据存储和传输通过云技术展开，在借助公有云通道进行传输和存储时需要充分重视信息安全问题，有效保障患者隐私权利，防止数据泄漏。对于医务人员登录，可通过加密 KEY 技术进行身份识别、认证登录等。同时本地系统要做好数据保护工作，选择信誉较好、具备涉密系统资质集成的运营商，严格做好保密协议签署工作。系统对于防护服穿戴异常情况及职业暴露行为可实时提示和指导，帮助医务人员从“视”、“听”、“感官”等多层次反馈和追溯，进一步加强和巩固医务人员感染风险行为防护能力和效果。两部分相互叠加实现多重验证防护效果，为医务人员职业暴露防护提供新的研究方向。

参考文献

1 国家卫生健康委疾控局. 关于印发新型冠状病毒感染的肺炎疫情紧急心理危机干预指导原则的通知（肺炎机制发〔2020〕8 号）[EB/OL]. [2020 - 01 - 27]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-01/27/content_5472433.htm.

2 Kawaguchi Y, Nomura Y, Nagai M, et al. Liver Transection Using Indocyanine Green Fluorescence Imaging and Hepatic Vein Clamping [J]. Br J Surg, 2017, 104 (7): 898-906.

3 Hui D S, I Azhar E, Madani T A, et al. The Continuing2019-nCoV Epidemic Threat of Novel Coronaviruses to Global Health-the latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China [J]. International Journal of Infectious Diseases, 2020 (91): 264-266.

4 You X, Zhang C, Tan X, et al. AI for 5G: research directions and paradigms [J]. Science China Information Sciences, 2019, 62 (2): 85-89.

5 Foerster RM, Poth CH, Behler C, et al. Erratum: using the virtual reality device Oculus Rift for neuropsychological assessment of visualprocessing capabilities [J]. Scientific Reports, 2017, 7 (37016): 41464.

6 Daniela Villani, Chiara Rotasperti, Pietro Cipresso, et al. Assessing the Emotional State of Job Applicants Through a Virtual Reality Simulation: a psycho-physiological study [J]. Springer International Publishing, 2017 (181): 119-126.

7 Draelos M, Keller B, Viehland C, et al. Real-time Visualization and Interaction with Static and Live Optical Coherence Tomography Volumes in Immersive Virtual Reality [J]. Biomedical Optics Express, 2018, 9 (6): 2825.

8 中华人民共和国中央人民政府. 民政部办公厅关于印发《养老机构新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控指南（第二版）》的通知（民电〔2020〕18 号）[EB/OL]. [2020-02-07]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-02/07/content_5475906.htm.

9 Eric Smalley. AI-powered drug discovery captures pharma interest [J]. Nature Biotechnology, 2017, 35 (38): 604-605.