

磁共振设备监测预警系统的设计与实现

冉梓垠 芦铭 韩乾 宋凯 聂彦

摘要 目的 为提升磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)设备的运维智能化水平,设计并实现一种融合多模态视觉识别算法与云边协同架构的MRI设备监测预警系统。**方法** 系统整体采用“数据采集层-边缘计算层-数据云平台层”三层结构,包含图像采集、智能识别、预警通知、参数设置、数据管理等功能。图像处理模块,使用C++与OpenCV实现表盘识别和颜色识别算法,结合Python和EasyOCR构建OCR字符识别功能,Python代码编译为可执行文件供主程序调用,确保系统模块间高效对接。所有算法支持参数化配置,适配不同设备型号和呈现形式,通过“一次标注+参数化配置”减少算法计算量并提高算法准确率;图像识别数据和预警数据上传至云端平台,实现多院区统一管理。系统在某医院两个院区进行试运行,验证其性能。**结果** 该方案实施成本低、部署灵活,无需对原有设备系统进行改造。在监测内容方面,系统可对供电状态、液氮压力、环境温湿度等关键运行参数进行精准监测与实时预警。实测结果显示:电源运行状态识别准确率为100%;液氮压力值识别误差控制在 ± 0.1 以内;报警灯状态识别准确率达100%;环境温度数显屏OCR识别准确率为95%。系统实现了5 s一次的图像轮询识别,人工巡检频次由原来的每数天1次提升至每日1次,有效提高了设备运维效率与响应速度。**结论** 本系统充分结合多模态图像识别与云边协同技术,具备高通用性、低部署成本和强扩展能力,能够有效拓展MRI设备监测维度,为多院区、跨品牌MRI设备的远程监控与集中化运行管理提供了可行解决方案,同时可为医疗领域其他高端设备运维提供参考借鉴,具有显著的工程推广价值和学术研究意义。

关键词 磁共振设备;人工智能;OpenCV;EasyOCR;监测预警

DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-3208. 2026. 03. 006.

中图分类号 R318.6 **文献标志码** A **文章编号** 1002-3208(2026)03-0262-08

本文著录格式 冉梓垠,芦铭,韩乾,等. 磁共振设备监测预警系统的设计与实现[J]. 北京生物医学工程, 2026, 45(3): 262-269. RAN Ziyin, LU Ming, HAN Qian, et al. Design and implementation of the MRI equipment monitoring and early warning system [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2026, 45(3): 262-269.

Design and implementation of the MRI equipment monitoring and early warning system

RAN Ziyin, LU Ming, HAN Qian, SONG Kai, NIE Yan

Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035

Corresponding author: RAN Ziyin (E-mail: 38368019@qq.com)

【Abstract】 Objective To enhance the intelligent operation and maintenance level of magnetic resonance imaging (MRI) equipment, this paper designs and implements an MRI monitoring and early warning system that integrates multi-modal visual recognition algorithms with an edge-cloud collaborative architecture. **Methods** The system

作者单位:首都医科大学附属北京积水潭医院(北京 100035)

通信作者:冉梓垠. E-mail: 38368019@qq.com

adopts a three-layer architecture comprising a data acquisition layer, an edge computing layer, and a cloud platform layer. It includes functions such as image acquisition, intelligent recognition, alert notification, parameter configuration, and data management. For image processing, C++ and OpenCV are used to implement dial and color recognition algorithms, while Python and EasyOCR are employed to construct OCR character recognition modules. Python codes are compiled into executable files callable by the main program, ensuring efficient inter-module communication. All algorithms support parameterized configuration to adapt to various device models and display formats. By adopting a “one-time labeling + parameterized configuration” approach, the system reduces computational complexity and improves recognition accuracy. Recognition and alert data are uploaded to the cloud platform, enabling centralized management across multiple hospital campuses. The system is deployed in two campuses of a hospital for trial operation to verify its performance.

Results The solution is low-cost, flexible to deploy, and does not require modification of existing device systems. In terms of monitoring scope, the system can accurately track key parameters such as power status, liquid nitrogen pressure, and environmental temperature and humidity, and provide real-time alerts. Actual test results indicate that power status recognition accuracy reach 100%, liquid nitrogen pressure reading error is within ± 0.1 , alarm indicator recognition accuracy reach 100%, and environmental temperature display OCR recognition accuracy reach 95%. The system performs image polling every 5 seconds, increasing inspection frequency from once every few days to once per day, thereby significantly improving maintenance efficiency and fault response speed. **Conclusions** This system fully integrates multi-modal image recognition with edge-cloud collaboration technology. It features high generalizability, low deployment cost, and strong scalability. The system effectively expands the monitoring scope of MRI equipment, provides a viable solution for remote supervision and centralized management of MRI devices across campuses and brands, and offers reference value for the intelligent maintenance of other high-end medical equipment. It possesses substantial engineering applicability and academic research significance.

【Keywords】 magnetic resonance imaging; artificial intelligence; OpenCV; EasyOCR; monitoring and early warn

0 引言

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)凭借无创、高分辨率成像等优点,已成为医院诊疗体系中的核心设备^[1]。设备一旦发生故障,不仅影响临床诊疗进程,还会带来高昂的维修费用和停机收入损失^[2],因此需做好MRI设备的日常维护,及时发现并排除故障隐患^[3]。MRI的可靠运行不仅取决于设备本身,还高度依赖配套的供电系统、冷却系统、环境空调系统等,电压波动、冷却失效或环境温度异常等因素均可能导致设备停机、磁体猝灭甚至永久损坏。因此,设备运维工作必须对设备本体及配套系统进行全面管理。然而,主流厂商的远程监控功能局限于设备本体参数,缺少对外部配套系统的感知和预警,医院仍需依赖人工巡检,面临人力成本高、巡检频次低和故障发现滞后等问题^[4]。

王坚强和卢诚^[5]、应辉志^[6]通过加装传感器实现了冷却水流及机房温湿度等运行监测,但需改造管线,部署成本高且难以跨品牌复用。汤福南等^[7]采用摄像头和光学字符识别(optical character recognition, OCR)算法识别液晶面板读书,避免硬件侵入,但算法单一,监测维度有限,且依赖第三方云OCR识别服务,造成带宽开销和数据隐私风险。

近年来,随着人工智能技术的迅速发展,视觉识别算法可解析的视觉显示信息也从简单信息扩展到更多样化、更精细化的信息^[8]。同时,云边协同架构因兼具实时响应能力与集中管理优势,得到越来越广泛的应用^[9]。因此,本文针对MRI设备监测预警面临的问题,提出一种融合多模态智能识别算法以及云边协同架构的MRI设备监测预警系统,以摄像头非侵入式采集图像,融合表盘识别、OCR字符识别与颜色识别算法,对供电、冷却、机房环境等

多维参数进行监控,并通过边缘侧计算与云端统一管理,实现多院区、分布式部署下的集中运维。该方案旨在构建具有低成本、高适配、可扩展的MRI设备运维新路径,为医院集团化设备管理与故障预警提供技术支撑。

1 系统设计及功能实现

1.1 系统整体架构

本研究构建的MRI设备监测预警系统包括数据采集层、边缘计算层和数据云平台层,如图1所示。

数据采集层:部署在MRI设备所在院区,通过高清网络摄像头采集MRI设备本体或配套系统运行状态的图像信息,采集内容包括指针式表盘、液晶数字面板、状态指示灯等多种视觉呈现形式,通过局域网将实时图像数据传输至边缘计算节点。

边缘计算层:部署于各个院区的本地计算机上,运行自主开发的边缘侧监测预警软件。该软件

实现了视频播放、图像识别、预警通知等功能,具备独立完成运行状态识别与预警的能力。

数据云平台层:部署于公有云或私有云环境中,包含云服务器与数据管理平台,主要负责各院区边缘端上传数据的集中存储、统计分析与统一管理。运维人员既可在院区本地使用边缘侧软件实现设备可视化监测,也可登录云端平台查看和分析所有院区的历史数据与告警日志,实现多院区统一监管。

系统架构设计具有以下显著优势:

(1)部署成本低,通用性高。利用摄像头进行非侵入式视觉采集,避免了对MRI系统及其环境的电气改造,显著降低部署成本。该方案适用于多种不同厂商、不同型号MRI设备及配套系统,通用性强,便于快速部署与规模化推广。

(2)多模态视觉识别与多通道冗余判断机制。设计实现了表盘识别、OCR字符识别、颜色识别等多种图像识别算法模块,可同时解析多种类型的视

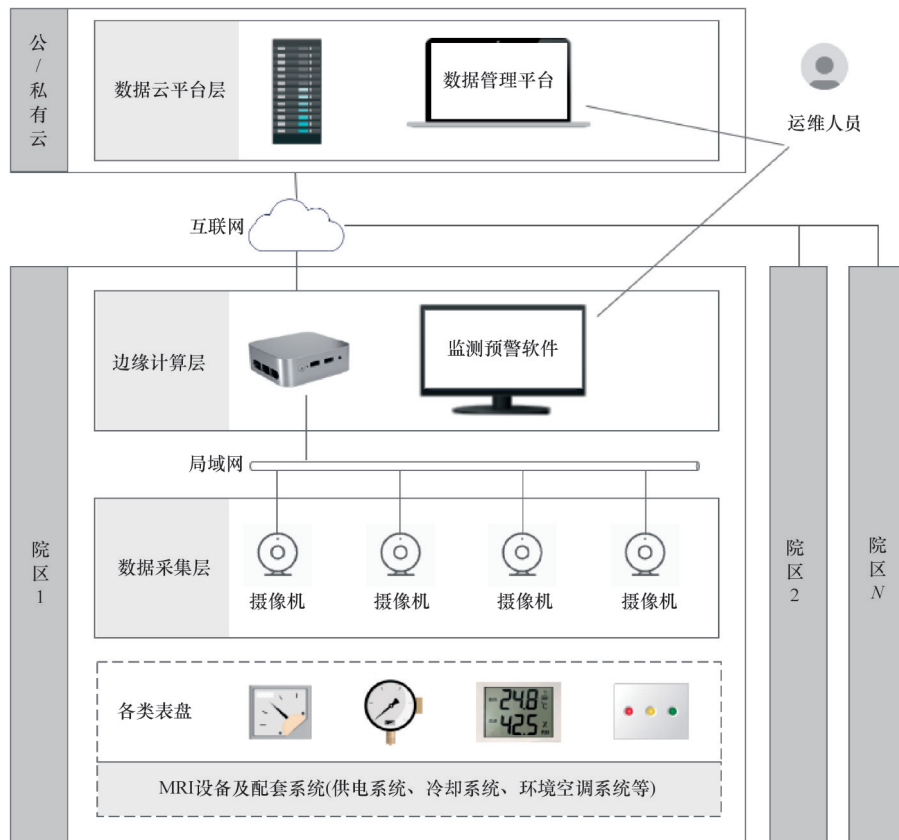


图1 磁共振设备监测预警系统整体架构

Figure 1 System architecture of the MRI equipment monitoring and early warning system

觉信息。系统支持算法模块灵活扩展,通过组合多算法结果实现冗余验证(如环境温度通过数值识别与报警灯识别双重判断),提升预警准确性与系统鲁棒性。

(3)云边协同,兼顾实时响应与集中管理。边缘端实现图像预处理与状态识别,可在本地快速完成秒级识别与预警推送,有效降低图像外传带宽开销及数据泄露风险。云平台支持多院区数据统一汇聚、趋势分析和运维报表生成,便于区域级集中监管与决策支持。

1.2 数据采集层

为实现部署便捷、结构灵活且具备高图像清晰度的数据采集功能,本系统采用基于网络传输的视频采集方式,通过集成市场主流高清摄像机完成图像采集任务。经测试比选,采用海康威视网络摄像机 DS-2CD6B35FDWD-PLW,如图2(a)所示,该型号摄像机采用方块形小型化设计,体积紧凑,便于在空间受限的机房中灵活部署,同时摄像机支持微距对焦,最小可在5 cm内清晰成像,满足对表盘读数、数字面板和小尺寸指示灯等细节目标的拍摄需求。

摄像机安装时需结合实际设备环境定制支架结构,确保镜头视野正对目标区域,避免因角度偏差影响图像识别精度。图2示意了摄像机在典型安装环境中的布置位置,包括环境温度控制面板、液氮压力表与配电柜电源指示灯等关键监测部位。

1.3 边缘计算层

1.3.1 边缘侧监测预警软件功能

边缘侧监测预警软件主要包含视频播放、图像识别、预警通知、参数设置、数据上传等功能。软件

主界面如图3所示。

(1)视频播放。通过摄像机厂商 SDK 实时拉流,支持远程查看与 ROI 局部放大,便于工程师快速核查设备状态。

(2)图像识别。内置表盘识别、OCR 字符识别和颜色识别三大算法模块,可按摄像机通道自由组合;同一画面可并行执行多算法(如温控面板同时做数字 OCR + 报警灯颜色检测)以实现冗余验证。

(3)预警通知。按自定义报警规则比对识别结果,触发本地声音报警,并通过 E-mail 与 SMS 推送远程报警,远程报警消息包含时间、院区、监测点、测值与阈值,邮件报警自动附带原始图像,短信报警提供图像 URL,便于人工复核。

(4)参数设置。包括算法参数和报警参数设置。算法参数可设置算法类别、ROI 区域及具体算法的详细参数设置。报警参数包括报警规则、阈值范围、报警方式等。

(5)数据上传。采用 HTTPS 传输协议并结合设备 Token 签名上传识别结果与告警记录,防止篡改与伪造。

1.3.2 图像识别算法

系统已实现表盘识别、OCR 字符识别和颜色识别三类算法,均支持“一次标定+参数化调用”模式,可按需扩展新的视觉识别模块。

(1)表盘识别算法:现有表盘识别研究主要采用 Hough 直线法^[10-11]、中心投影法^[12]及深度模型法^[13]。考虑本系统摄像机与表盘相对固定,本文在 Hough 直线算法基础上提出“一次标定+参数化调用”策略。

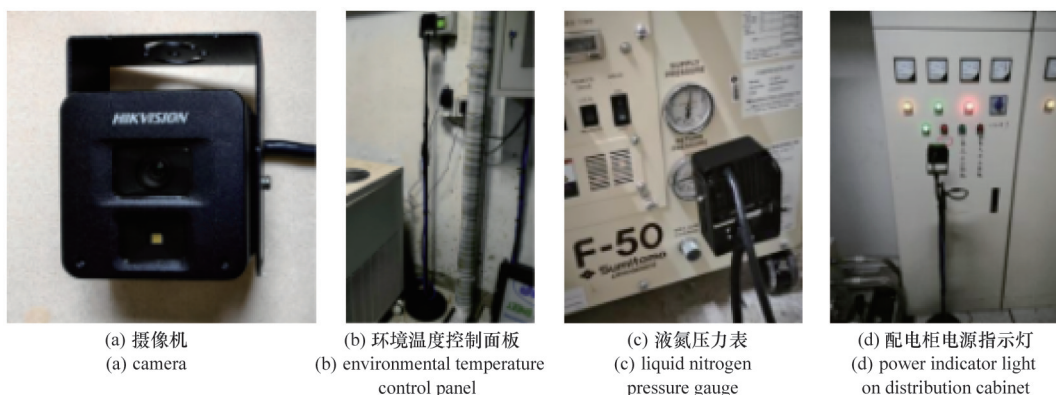


图2 摄像机设备及安装位置图

Figure 2 Camera device and installation layout diagram

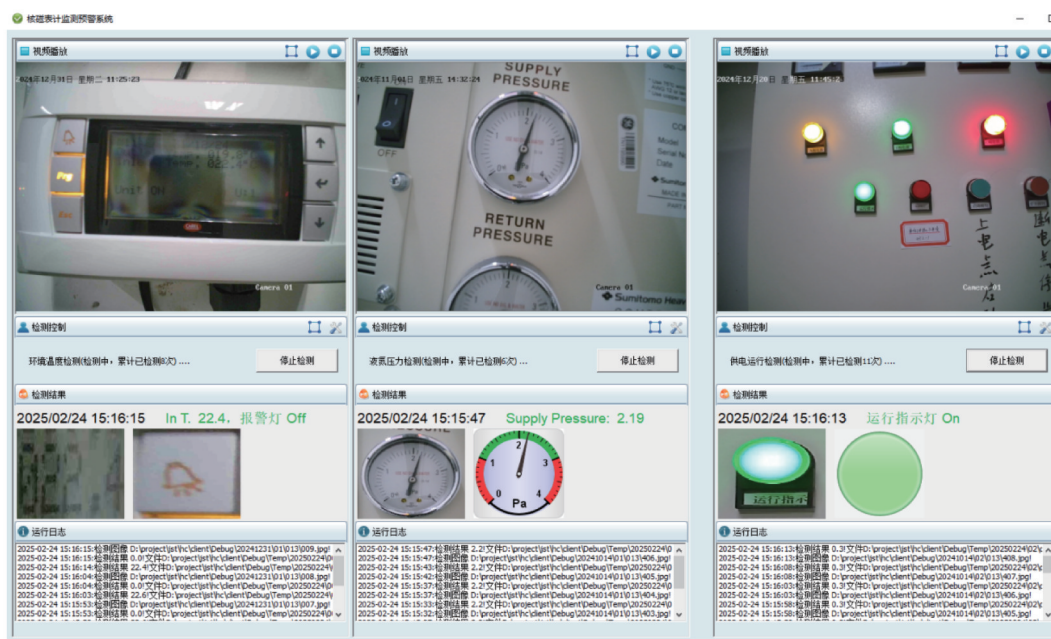


图 3 监测预警软件主界面

Figure 3 Main interface of the monitoring and early warning software

“一次标定”:首次部署时,首先通过四点定位进行图像校正,然后通过界面标注圆心,并设置角度区间与量程,参数写入配置文件。

“参数化调用”:运行期直接加载参数,仅在 ROI 内做边缘检测与 HoughLinesP,显著降低运算量并提升精度。

表盘识别算法流程如图 4 所示,采用 C++ 语言和 OpenCV 库实现算法功能。

①图像预处理:包括灰度化、图像校正、区域裁

剪等预处理,得到仅包含表盘的校正后图像。

②检测表盘指针:对图像进行边缘检测,然后检测所有直线,对每条直线线段计算其与表盘中心点的距离,距离最小者为表盘指针。其中,边缘检测采用 OpenCV 的 Canny 函数,调用 HoughLinesP 函数,使用霍夫线(Hough line)变换在边缘图像中检测直线,得到检测到的线段集合。分别计算线段的两个端点 $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ 到中心点 $O(x_0, y_0)$ 的距离,取最小值作为该线段与中心点的距离。两点间距离采用欧几里得公式计算:

$$d(A, O) = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad (1)$$

③计算指针夹角:计算指针向量 $\vec{v} = (x_p - x_0, y_p - y_0)$ 与水平向右方向的单位向量 $\vec{u} = (1, 0)$ 的夹角 θ :

$$\theta = \arctan 2(y_p - y_0, x_p - x_0) \quad (2)$$

④角度映射为实际读数:从标定参数中读取表盘刻度最小值 $V_{\min}$ 、最大值 $V_{\max}$,以及角度范围 $\theta_{\min}$ 和 $\theta_{\max}$,实际读数 V 按线性插值公式计算:

$$V = V_{\min} + \frac{\theta - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}} \times (V_{\max} - V_{\min}) \quad (3)$$

(2)OCR 字符识别算法:OCR 字符识别算法通常包括统计特征字符识别技术、结构字符识别技术和基于人工神经网络的识别技术^[14]。基于人工神

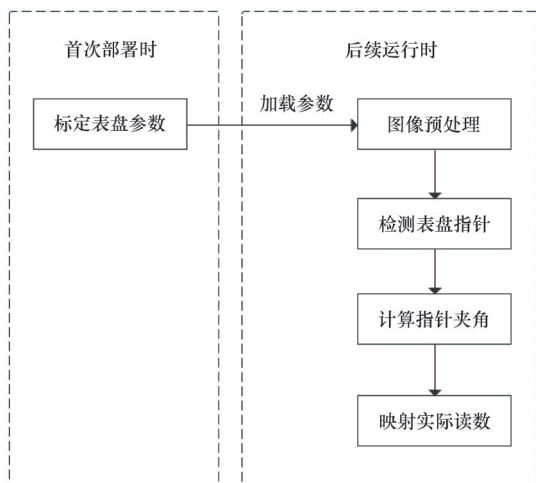


图 4 表盘识别算法流程

Figure 4 Flowchart of dial recognition algorithm

经网络的深度学习方法具有鲁棒性强、适应性高等优点,已成为主流 OCR 字符识别技术。本文采用轻量级开源库 EasyOCR,其中,基于深度学习的轻量级开源字符识别库 EasyOCR 由于部署和使用简单、无需训练即可使用、识别准确率高、支持多种语言等优点,在多个领域得到广泛的应用^[15]。

由于 EasyOCR 基于 Python 开发,无原生 C++ 接口,因此 OCR 识别功能采用 Python 语言编写,将代码编译为可执行文件 ocr.exe 供主程序进行调用,如图 5 所示。首次部署时通过图形界面设置 OCR 识别区域等参数,后续运行时对标定区域进行 OCR 识别。

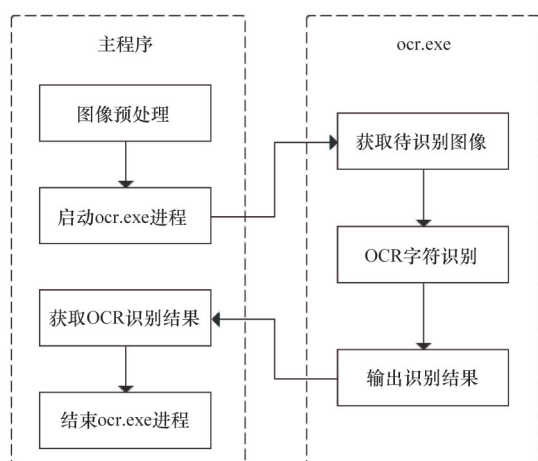


图5 程序间调用流程

Figure 5 Flowchart of inter-process call

①图像预处理:主程序结合 OpenCV 进行图像校正、区域裁剪等预处理,得到仅包含待识别字符区域的图像,保存为图片文件。

②启动 ocr.exe 进程,将图片文件作为参数传递到 ocr.exe。ocr.exe 通过 EasyOCR 库中的 readtext 函数进行 OCR 字符识别,识别结果通过 print 输出。

③主程序获取 ocr.exe 的输出内容,得到 OCR 字符识别结果。

④结束 ocr.exe 进程。

(3)颜色识别算法:首次部署时通过图形界面设置颜色识别区域等参数,后续运行时对每帧图像进行颜色识别。颜色识别算法流程如下。

①图像预处理:进行图像校正及区域裁剪,得到仅包含待识别颜色区域的图像。

②颜色空间转换:图像原始像素一般为 RGB 格

式,但 RGB 色彩对光照变化非常敏感,不适合直接进行颜色识别。因此通常将其转换为 HSV 空间,其中 H(hue,色调)代表颜色类型,如红色、绿色、蓝色等,S(saturation,饱和度)代表颜色的纯度,V(value,亮度)代表颜色的亮度。调用 OpenCV 的 cvtColor 可将图像从 RGB 转换到 HSV 色彩空间。

③过滤目标颜色:设定颜色阈值,创建颜色掩膜,在 HSV 颜色空间中将图像中属于目标颜色范围的像素保留下来,生成一个二值图像。调用 OpenCV 的 inRange 可通过颜色阈值范围创建二值图像掩膜,白色区域表示属于目标颜色,黑色区域表示不属于目标颜色。

需要注意的是,HSV 色彩空间中的色调(H)是一个环形区间,范围通常是 0~180,某些颜色(如红色、品红、紫色)的色调值接近两端(如 0 和 180)时,会“跨越边界”。因此,当提取这类颜色时,需要创建两个掩膜并进行“或”运算才能覆盖完整区域。

④颜色判断:统计二值图像中目标颜色面积,并根据像素总数量计算绿色像素的占比,根据预设阈值判断“该颜色是否亮起”。

1.4 数据云平台层

云平台层部署于公有云或私有云环境,通过 Web 数据管理平台软件实现多院区 MRI 设备监测数据的统一接入、集中展示与权限管理。

1.4.1 平台架构与安全机制

前端采用 HTML5、CSS3、JavaScript 与 Vue.js 框架,实现界面组件化、动态响应与跨平台兼容。后端使用 PHP 开发,连接 MySQL 数据库用于结构化存储。

为确保数据安全与隐私保护,平台采用以下机制。

(1)访问控制:基于 Token 的用户身份认证与角色权限分级管理,防止未授权访问。

(2)传输安全:通过 HTTPS 加密协议实现通信加密,防止中间人攻击和数据篡改。

(3)审计日志:记录用户登录、操作与数据访问行为,便于审计与问题追溯。

1.4.2 核心功能模块

(1)数据存储:使用 MySQL 数据库对边缘层上传的图像识别结果与告警记录进行持久化管理。支持按时间、设备、院区等多维索引,便于高效查询。

(2)数据展示:实时展示各院区 MRI 设备状态,采用图表看板呈现温度、电压、压力、报警状态等核心参数,便于宏观把控与细节核查。

(3)查询统计:提供按设备、时间段、告警等级等条件的多维过滤与聚合统计,结果可视化为柱状图、折线图、饼图等形式,支持导出 Excel 报表。。

(4)配置管理:支持新增院区、注册 MRI 设备、分配用户权限、配置报警策略、设置邮件与短信服务接口等,支持灵活扩展与远程维护。

2 初步应用效果

MRI 设备监测预警系统样机已在某院两个院区完成试点运行。运行结果表明,系统在部署实施、监测维度、算法准确率、运维效率及多院区管理方面均取得了良好的应用效果,评估指标如表 1 所示。

试点结果验证了该系统在快速部署、识别准确、集中管理和降本增效方面的综合优势,具备良好的工程推广价值与应用前景。

3 讨论

近年来,国内外在 MRI 设备监测与智能运维领域已开展了多项研究。国内外 MRI 设备厂商均提供一定程度的远程监测功能,但大多聚焦于 MRI 设备本体的状态参数,难以对配套系统进行统一感知与管理,亦不具备面向多品牌设备的开放式扩展能力。王坚强和卢诚^[5]、应辉志^[6]基于传感器构建 MRI 运行监测系统,重点关注水冷、供电等配套系统状态,但该类方案需在机房或设备上布设额外的传感器,存在部署难度大、实施成本高等问题,不适用于已建成机房的改造场景。相比之下,本文所提出

的方案具有非侵入性优势,利用摄像头即可采集包括表盘、LCD 屏、指示灯在内的视觉信息,避免了对原系统结构的干预,部署灵活、成本低,更适合于已建 MRI 设备的运行监测。

算法能力方面,相较于汤福南等^[7]采用 OCR 识别单一信息源的方案,本文引入了表盘识别、OCR 字符识别、颜色识别等多模态智能算法,且支持参数化配置和冗余机制,提升了系统的适应能力与通用性。

此外,系统架构方面,本研究采用边缘计算与云平台协同的分层设计,在边缘侧进行图像识别和报警通知,在云端实现数据集中管理、权限配置和历史记录分析,有效降低了网络数据传输量和响应延迟,更好地进行多院区、多设备的统一运行管理。

综上所述,本文提出的 MRI 设备监测预警系统在保持非侵入式、低成本特性的同时,兼具高通用性、高扩展性和多院区集中管理能力。未来,系统还可拓展更多视觉信息解读能力,进一步提升智能化水平与自动响应能力。

4 结论

本文提出并实现了一种融合多模态智能识别算法以及云边协同架构的 MRI 设备监测预警系统,该系统具有实施成本低、通用性强、扩展能力高等特点,能够拓展 MRI 设备监测维度,提升运维效率,强化多院区 MRI 设备远程监控和集中化运行管理能力。同时,本文所构建的多模态视觉融合框架、“一次标定+参数化调用”的表盘识别模式以及云边协同系统架构可为医疗领域其他高端设备运维提供参考借鉴,具有显著的工程推广价值和学术研究意义。

表 1 MRI 监测预警系统评估指标

Table 1 Evaluation metrics of the MRI monitoring and early warning system

评估指标	试点结果	说明
部署实施	简单高效,成本低	每个院区使用一台普通笔记本电脑作为边缘计算机,3 台摄像头采集图像,无需设备改造,云端部署基于阿里云
监测维度	多维监测,扩展方便	支持供电系统、冷却系统、空调系统监测,涵盖电源指示灯、液氮压力、环境温度等关键参数
算法准确率	整体准确率高	液氮压力表误差 ± 0.1 ;电源指示灯和温度控制面板报警灯 100%;温度控制面板数字识别准确率 95%
算法冗余机制	支持冗余识别	温度控制面板同时采用颜色识别(报警灯)与 OCR(温度值)双路径识别,增强系统鲁棒性
运维效率	提升显著	系统每 5 s 轮询识别,支持远程可视化巡检,人工巡检频次从之前的数天 1 次提升到每天 1 次
多院区管理	支持集中与分区管理	云端统一管理两个院区,同时各院区支持本地运行监测管理

参考文献

- [1] 李真林,倪红艳.中华医学影像技术学.MR成像技术卷[M].北京:人民卫生出版社,2018:37.
- [2] 赖文娟,牛艳迪,罗玲.分时段预约检查服务在核磁共振检查中的应用[J].齐鲁护理杂志,2018,24(8):81-83.
- [3] Fletcher J, Clark MD, Sutton FA, et al. The cost of MRI: changes in costs 1989-1996[J]. The British Journal of Radiology, 1999, 72(857):432-437.
- [4] 王甜甜,李国侠,庞浩,等.核磁共振质量影响因素及主要部件维护与保养[J].现代仪器与医疗,2014,20(1):85-87. Wang TT, Li G, Pang H, et al. The quality influencing factors of NMR and Maintenance for main parts[J]. Modern Instruments & Medical Treatment, 2014, 20(1):85-87.
- [5] 王坚强,卢诚.基于无线通信的远程医疗设备在线监测系统的设计与实现[J].临床医药文献电子杂志,2020,7(20):175,178.
- [6] 应辉志.一种核磁共振机房监测系统的设计与实现[J].中国医疗设备,2020,35(8):105-107,118. Ying HZ. Design and implementation of a MRI machine room monitoring system [J]. China Medical Devices, 2020, 35(8): 105-107,118.
- [7] 汤福南,许翔,张可,等.基于物联网和人工智能的核磁共振机房监测系统设计[J].中国医疗设备,2019,34(11):101-104,115. Tang FN, Xu X, Zhang K, et al. Design of monitoring system for nuclear magnetic resonance room based on the internet of things and artificial intelligence [J]. China Medical Devices, 2019, 34(11):101-104,115.
- [8] 刘艳.基于智能化技术的机电设备安全监测与预警系统设计与应用[J].机械与电子控制工程,2024,6(2):91-93.
- [9] 陈玉平,刘波,林伟伟,等.云边协同综述[J].计算机科学,2021,48(3):259-268.
- [10] 葛世瞳,王健,尤泽广,等.压力容器指针式仪表读数的图像识别方法研究[J].石化技术,2025,32(3):351-353.
- [11] 左振寰,李亚薇,陈丽,等.基于机器视觉的指针式仪表自动读数方法研究[J].仪表技术与传感器,2024(6):37-40. Zuo ZH, Li YW, Chen L, et al. Method research on automatic reading of pointer instrument based on machine vision [J]. Instrument Technique and Sensor, 2024(6):37-40.
- [12] 李伟,任青青,胡艳侠,等.一种复杂指针式仪表的读数自动识别算法[J].计算机技术与发展,2017,27(3):201-204. Li W, Ren QQ, Hu YX, et al. A Kind of automatic recognition algorithm for complex pointer instrument [J]. Computer Technology and Development, 2017, 27(3):201-204.
- [13] 李金红,熊继平,陈泽辉,等.基于卷积神经网络的指针式仪表识别[J].计算机系统应用,2021,30(9):85-91. Li JH, Xiong JP, Chen ZH, et al. Recognition of pointer instrument based on convolution neural network [J]. Computer Systems & Application, 2021, 30(9):85-91.
- [14] 岳晓峰,焦圣喜,韩立强,等.模式识别中的光字符识别技术及应用综述[J].河北工业科技,2006,23(5):312-316. Yue XF, Jiao SX, Han LQ, et al. Survey of OCR and its applications in pattern recognition [J]. Hebeijournal of Industrial Science and Technology, 2006, 23(5):312-316.
- [15] Vedhaviyassh DR, Muthukumar S, Aashrith S, et al. Comparative analysis of easyocr and tesseractocr for automatic license plate recognition using deep learning algorithm [C]// 2022 6th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology. Coimbatore, India: IEEE, 2022.

(2025-04-02收稿,2025-07-02修回)