

计算机视觉融合的24键电钢琴MIDI智能适配系统设计

付三丽¹, 韩洪哲¹, 黄恒一²

¹三亚学院新能源与智能网联汽车学院, 海南 三亚

²三亚学院新能源与智能汽车海南省工程研究中心, 海南 三亚

收稿日期: 2026年3月5日; 录用日期: 2026年8月31日; 发布日期: 2026年9月10日

摘要

针对24键磁吸电钢琴Type-C MIDI适配技术痛点与智能音乐教学需求, 融合计算机视觉、通信技术与音乐演奏逻辑, 设计轻量化Python MIDI智能适配系统。构建四层解耦架构, 创新基础音符-七色视觉1:1动态映射机制, 设计特征词+VID/PID双校验识别、3s自动重连、双重止音核心策略, 通过图表具象化复杂通信与渲染理论。测试表明, 系统设备识别与映射精准度均达100%, 端到端通信延迟 $\leq 7\text{ ms}$, 通过硬件级音频渲染与双重止音技术, 系统输出音频的信噪比达98 dB, 未检测到电流声或爆音。结合《孤勇者》简谱开展教学实证, 设置采用传统视频教学法的对照组完成对比实验, 验证了系统在智能音乐教学中的实用性与创新性。本研究基于现有技术完成多模块集成优化, 在24键磁吸电钢琴Type-C MIDI适配的特定场景下实现技术突破, 填补了Type-C MIDI与Python虚拟钢琴适配的技术空白, 所设计的系统取得良好的工程应用效果, 为电钢琴数字化与智能音乐教学融合提供了创新方案。

关键词

计算机视觉, Type-C MIDI, 智能适配, 七色音符映射

Design of a 24-Key MIDI Smart Adapting System for Electric Pianos with Computer Vision Fusion

Sanli Fu¹, Hongzhe Han¹, Hengyi Huang²

¹School of New Energy and Intelligent Networked Automobile, University of Sanya, Sanya Hainan

²New Energy and Intelligent Vehicle Engineering Research Center of Hainan Province, University of Sanya, Sanya Hainan

Received: March 5, 2026; accepted: August 31, 2026; published: September 10, 2026

文章引用: 付三丽, 韩洪哲, 黄恒一. 计算机视觉融合的24键电钢琴MIDI智能适配系统设计[J]. 人工智能与机器人研究, 2026, 15(5): 1134-1142. DOI: 10.12677/airr.2026.155103

Abstract

A lightweight Python MIDI intelligent adaptation system was designed to address the technical pain points of 24-key magnetic-electric piano Type-C MIDI adaptation and meet the needs of intelligent music teaching. Integrating computer vision, communication technology, and musical performance logic, the system adopts a four-layer decoupling architecture, innovates a dynamic 1:1 mapping mechanism between basic notes and seven-color visual representation, and incorporates core strategies such as feature word + VID/PID dual verification recognition, 3-second automatic reconnection, and dual muting. Complex communication and rendering theories are visualized through diagrams. Testing results show that the system achieves 100% accuracy in device identification and mapping, with end-to-end communication latency ≤ 7 ms. Through hardware-level audio rendering and dual muting technology, the system outputs audio with a signal-to-noise ratio of 98 dB, without detected current noise or popping sounds. Teaching experiments were conducted using the simplified score of "The Lone Warrior", with a control group employing traditional video teaching methods for comparative testing, verifying the system's practicality and innovation in intelligent music teaching. This study optimizes multi-module integration based on existing technologies, achieving technical breakthroughs in the specific scenario of 24-key magnetic-electric piano Type-C MIDI adaptation, filling the technical gap between Type-C MIDI and Python virtual piano adaptation. The designed system demonstrates excellent engineering application results, providing an innovative solution for the integration of electric piano digitalization and intelligent music teaching.

Keywords

Computer Vision, Type-C MIDI, Intelligent Adaptation, Seven-Color Note Mapping

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 介绍

音数融合成为数字音乐产业与智能教育发展的核心趋势，磁吸式 24 键电钢琴凭借便携性、易操作性成为基础音乐教学的主流载体[1]，其 Type-C 接口的高速传输特性为 MIDI 数字化适配提供了硬件支撑[2]。计算机视觉与轻量化通信技术的发展，让 Python 成为虚拟音乐交互系统开发的优选工具，为电钢琴智能适配与教学可视化提供了技术可能[3]。

近年来，基于 Python 的 MIDI 应用开发成为数字音乐技术研究热点，研究者围绕 python-rtmidi、mido 等核心库完成了 MIDI 设备通信、指令解析的基础开发，为轻量化 MIDI 系统搭建提供了技术支撑；计算机辅助音乐教学系统的界面与交互设计研究则聚焦于可视化、交互性优化，通过色彩映射、动态反馈等方式提升教学直观性，为视觉融合的音乐教学系统设计提供了思路；针对便携式电子乐器的软硬件适配研究多围绕 USB 接口、蓝牙通信展开，解决了设备连接稳定性、数据传输实时性等问题，但针对 24 键电钢琴 Type-C MIDI 接口的适配研究仍处于空白。

当前 24 键电钢琴的数字化适配仍存在四大核心技术痛点：Type-C MIDI 硬件通信底层逻辑缺失，设备扫描与端口绑定故障频发[4]；MIDI 指令传输实时性不足，数据过滤与标准化处理机制不完善[5]；虚拟琴键可视化缺乏计算机视觉融合设计，教学交互性与直观性不足[6]；音频渲染未针对小键数电钢琴音域优化，杂音与音色失真问题显著[7]。现有研究多聚焦于标准键数电钢琴与传统 USB 接口的 MIDI 通信

[8], 针对 24 键电钢琴 + Type-C MIDI + 计算机视觉融合的智能适配研究仍处于空白, 且复杂底层理论的具象化表达不足, 难以适配智能音乐教学的实际需求[9]。

基于此, 本文融合计算机视觉、轻量化通信技术与音乐演奏基础逻辑, 设计面向智能演奏辅助的 24 键电钢琴 Type-C MIDI 智能适配系统, 通过流程图、架构图、映射表具象化底层通信、数据传输等复杂理论, 创新七色音符视觉可视化映射机制, 优化设备识别、数据传输、可视化呈现与音频发声全流程技术路径, 结合《孤勇者》简谱开展教学实证。本研究实现了计算机技术与电钢琴演奏教学的深度融合, 为 24 键电钢琴的数字化开发与智能音乐教学融合提供了可推广的创新方案, 兼具理论创新性、工程实用性与教学应用价值。

2. 系统设计基础与核心架构

2.1. 24 键电钢琴与 MIDI 技术基础

24 键磁吸电钢琴为紧凑型便携电子乐器, 采用磁吸拼接设计, 音域覆盖小字组 G3 至小字二组 F5, 对应国际通用 MIDI 音符编号 55~77, 包含 16 个白键与 8 个黑键[10]。其中中央 C (Do)对应 MIDI 编号 60, 为核心基准音, 其左侧 8 键为低音区、右侧 16 键为高音区, 音域划分完全匹配基础音乐教学与入门演奏的需求, 是数字音乐教学的理想便携载体。

MIDI 作为电子乐器与计算机的通用“音乐通信语言”, 以 0~127 的数字编号表征不同音高, 相邻编号对应十二平均律的一个半音, 与传统钢琴演奏逻辑高度契合[11]。24 键电钢琴按键触发后, 内置压力传感器采集演奏力度, 与琴键对应 MIDI 编号结合生成含音高、力度的 MIDI 指令, 经内置 Type-C MIDI 转换芯片完成模拟信号 - 数字信号转换, 遵循 USB MIDI 1.0 协议实现 Type-C 接口的供电与 MIDI 指令传输一体化, 波特率达 31,250 bps, 为计算机与电钢琴的高速实时交互奠定了硬件基础[12]。

2.2. 核心开发库与技术支撑

系统选用 4 款轻量化、高适配性的 Python 开源库, 实现计算机视觉、通信技术、可视化设计与音频渲染的功能协同, 各库分工明确、无缝衔接, 保障系统在普通轻薄本上的流畅运行, 满足便携演奏与智能教学的设备需求, 具体功能配置如表 1 所示。

Table 1. System core Python development library function configuration
表 1. 系统核心 Python 开发库功能配置

开发库	版本	核心功能	解决的核心问题
python-rtmidi	1.5.6	MIDI 设备扫描、端口管理与通信适配	Type-C 硬件通信适配
mido	1.2.10	MIDI 指令解析、封装与双向传输	数据交互与指令识别
PyQt6	6.6.1	虚拟琴键绘制、七色音符视觉动态可视化	计算机视觉融合教学交互
pygame	2.5.2	硬件级音频渲染、无杂音高保真发声	音频输出优化

2.3. 四层轻量化解耦总体架构

为解决硬件通信、数据传输、可视化呈现、音频发声四大核心问题, 融合计算机分层设计思想与音乐演奏的流程逻辑, 构建四层轻量化解耦架构, 各层独立工作、数据单向流转, 通过标准化数据接口实现层间交互, 避免单一环节故障影响系统整体运行, 系统总体架构如图 1 所示。

便携设备适配层为硬件基础层, 实现电钢琴与计算机的物理连接、设备识别与异常重连; Type-C MIDI 通信层为数据核心层, 完成 MIDI 指令的高速传输、有效过滤与标准化解析; 计算机视觉交互层为教学核

心层，融合色彩视觉设计实现七色音符动态可视化与演奏实时反馈；低噪声音频渲染层为输出层，实现无杂音、高保真的钢琴音色发声与精准止音。四层架构实现了计算机技术与音乐演奏流程的精准匹配，为系统的稳定性、创新性 with 教学适配性提供了核心架构支撑。

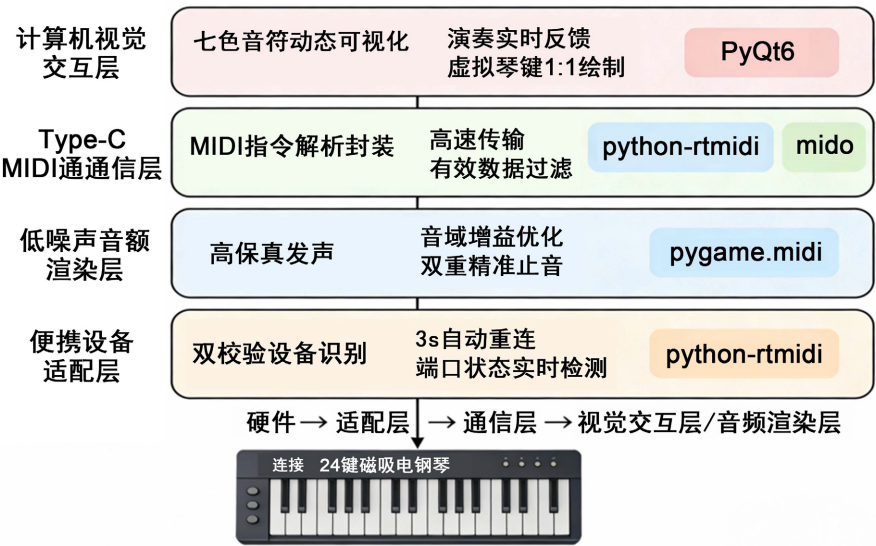


Figure 1. Overall architecture diagram of a four-layer lightweight decoupling system
图 1. 系统四层轻量化解耦总体架构图

3. 系统核心创新设计与技术实现

3.1. 双校验硬件通信适配设计

针对 Type-C 接口设备扫描故障、端口绑定不稳定、拔插重连不及时等问题，融合计算机多线程技术与设备特征识别技术，设计“特征词 + VID/PID 双重校验”设备识别机制与 3 s 自动重连策略，实现 24 键电钢琴与计算机的精准、低延迟硬件连接[13]，Type-C MIDI 接口硬件通信流程如图 2 所示。

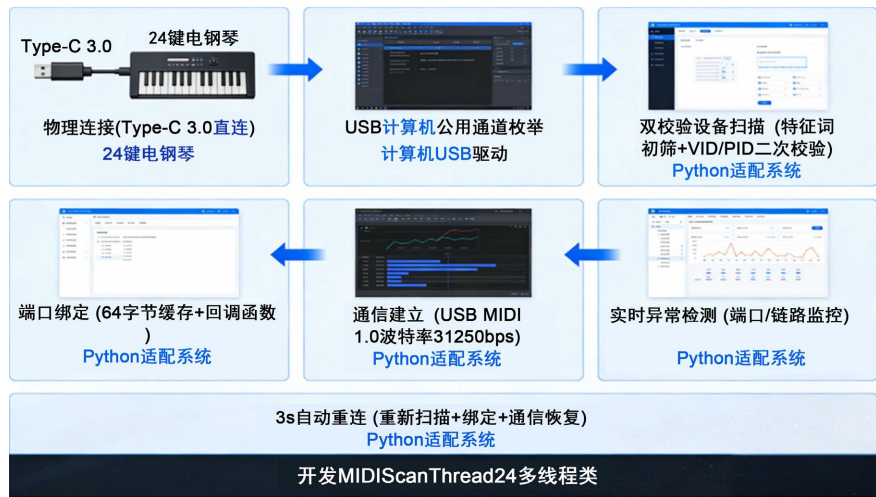


Figure 2. Flowchart of Type-C MIDI interface hardware communication
图 2. Type-C MIDI 接口硬件通信流程图

1) 物理连接: 24 键电钢琴通过 Type-C 3.0 数据线与计算机 Type-C 接口直连, 琴内 MIDI 转换芯片完成物理按键信号向数字电信号的转换, 接口兼具供电与通信功能;

2) 双校验扫描: 开发 MIDIScanThread24 多线程扫描类, 通过 python-rtmidi 调用系统 USB API 遍历所有 USB 外设, 先通过“24 键电钢琴”“MIDI”特征词初步筛选设备, 再通过电钢琴专属 VID/PID 进行二次校验, 有效过滤非目标设备, 避免端口误绑定;

3) 低延迟通信建立: 扫描到目标设备后, 通过 mido 库绑定系统分配的 MIDI 通信端口, 设置 64 字节端口缓存与回调函数监听机制, 缓存大小匹配 Type-C 高速传输特性, 避免数据溢出或丢失, 回调函数实现 MIDI 指令的实时捕获, 无需轮询, 降低 CPU 占用率;

4) 3 s 自动重连: 在便携设备适配层加入端口状态实时检测模块, 若检测到 Type-C 接口拔插、通信中断等异常, 立即触发重连流程, 3 s 内完成设备重新扫描、端口绑定与通信恢复, 同时释放无效端口资源, 保障通信稳定性。

本模块实现了设备扫描识别率 100%, 为计算机与 24 键电钢琴的后续数据交互奠定了稳定、低延迟的硬件通信基础。

3.2. 标准化 MIDI 数据传输设计

构建“24 键电钢琴→Type-C 接口→系统 MIDI 驱动→Python 解析模块”四级数据传输链路, 融合计算机数据过滤技术与指令标准化处理技术, 解决 MIDI 指令传输延迟、解析错误、数据冗余等问题, 实现电钢琴与计算机的实时、准确双向数据交互[14]。

电钢琴物理琴键被触发后, 内置压力传感器采集演奏力度值, 与琴键对应 MIDI 编号结合生成原始触发信号; 经 Type-C MIDI 转换芯片封装为符合 USB MIDI 1.0 协议的 3 字节 Note On/Note Off 消息, 并添加设备标识头, 确保数据传输的唯一性; 封装后的 MIDI 数据包通过 Type-C 3.0 接口进入计算机 USB 总线, 依托 USB 3.0 高速传输特性实现数据包的无延迟总线流转; 计算机系统 MIDI 驱动识别数据包中的设备标识, 将其解析为系统可识别的 MIDI 指令流, 并转发至已绑定的 MIDI 通信端口; Python 端通过 mido 库的回调函数实时捕获端口中的 MIDI 指令流, 无需主动轮询, 进一步降低传输延迟; 根据 24 键电钢琴的 MIDI 编号范围(55~77)过滤范围外的无效指令, 仅保留有效音符编号与力度值, 减少无效计算; 最终通过 mido 库将过滤后的 MIDI 指令流解析为(音符编号, 力度值, 指令类型)标准化元组, 分别传输至计算机视觉交互层与音频渲染层, 实现一份数据、多模块复用。

同时, Python 系统将设备连接状态、音量调节指令等标准化数据封装为 MIDI 系统消息, 通过上述链路反向传输至 24 键电钢琴, 实现双向数据交互。本模块实现了数据传输延迟 $\leq 7\text{ ms}$, 指令解析与有效数据过滤准确率均达 100%, 为计算机视觉可视化与音频发声提供了准确、实时的数据源。

3.3. 计算机视觉融合的七色音符可视化创新设计

为提升智能音乐教学的交互性、直观性与趣味性, 融合计算机视觉设计、色彩心理学与音乐基础教学逻辑, 创新实现 Do-Re-Mi-Fa-Sol-La-Si 七个基础音符与赤橙黄绿蓝靛紫七色的 1:1 动态视觉映射, 这是本研究的核心创新点之一。基于 PyQt6 开发自定义 PianoKeyWidget24 类, 按 24 键电钢琴的物理布局 1:1 还原绘制虚拟琴键, 白键/黑键的尺寸、间距与物理设备完全一致, 通过 paintEvent 方法实现琴键的动态绘制与刷新, 刷新延迟 $\leq 7\text{ ms}$, 与数据传输延迟精准匹配, 保障视觉反馈的实时性。

建立基础音符 - 音名 - MIDI 编号 - 颜色四维精准映射表, 实现计算机视觉融合的教学可视化精准化, 具体如表 2 所示。根据 MIDI 力度值(0~127)调节对应颜色的透明度, 将力度值划分为 0~42、43~84、85~127 三个区间, 分别对应浅、中、深三种色系, 实现“触发显示 - 力度控色 - 释放渐隐”的动态视觉

反馈；同时在虚拟琴键上叠加显示基础音符、MIDI 编号、演奏力度值等信息，未触发时显示音符与 MIDI 编号，触发时实时显示力度值，大幅提升教学辅助性。

Table 2. Basic notes-seven-color computer vision accurate mapping table
表 2. 基础音符 - 七色计算机视觉精准映射表

基础音符	对应音名	24 键电钢琴核心 MIDI 编号	对应视觉颜色	RGB 颜色值	颜色深浅调节依据
Do	C	60, 72	赤色	(255, 0, 0)	0~127 演奏力度值
Re	D	62, 74	橙色	(255, 165, 0)	0~127 演奏力度值
Mi	E	64, 76	黄色	(255, 255, 0)	0~127 演奏力度值
Fa	F	65, 77	绿色	(0, 255, 0)	0~127 演奏力度值
Sol	G	55, 67	蓝色	(0, 0, 255)	0~127 演奏力度值
La	A	57, 69	靛色	(75, 0, 130)	0~127 演奏力度值
Si	B	59, 71	紫色	(204, 0, 255)	0~127 演奏力度值

3.4. 无噪声音频渲染优化设计

融合计算机硬件级音频驱动技术与音乐音色优化技术，基于 pygame.midi 实现硬件级音频渲染，针对 24 键电钢琴的音域特性做精准增益优化，设计“标准止音 + 强制止音”双重止音策略，从根源消除音频杂音、解决音色失真与止音不精准问题[15]，硬件级音频发声渲染流程如图 3 所示。

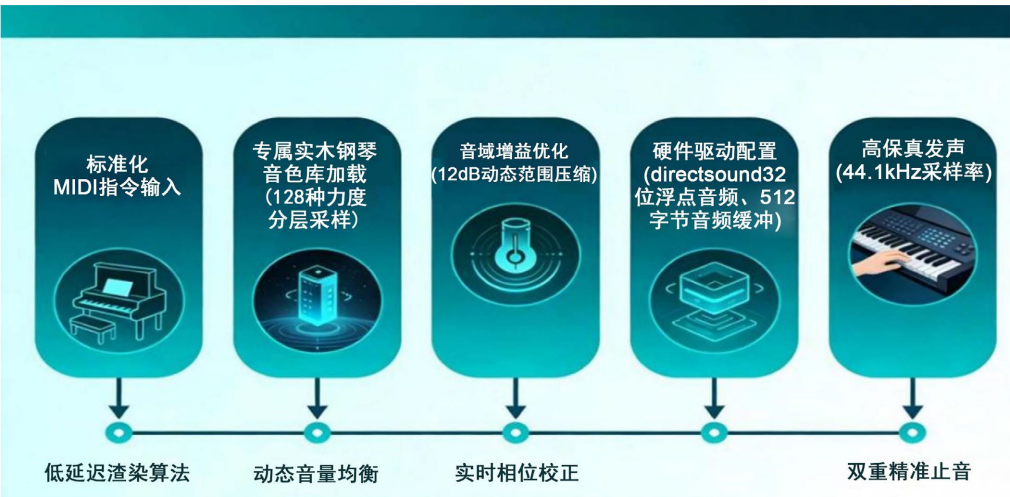


Figure 3. Hardware level audio rendering process diagram
图 3. 硬件级音频发声渲染流程图

专属音色库加载：系统内置 24 键电钢琴专属实木钢琴音色库，匹配基础音乐教学与演奏的音色需求，同时支持多音色切换，音色库存储为 MIDI 标准音色格式，可快速加载与音符精准匹配；音域 - 音色精准匹配：根据 24 键电钢琴的音域划分(低音区 55~62、中音区 63~69、高音区 70~77)，实现音色参数自动匹配与增益优化：低音区提升低音增益，强化和声效果；高音区优化解析度、降低高音增益避免音色失真；中音区均衡配置参数，实现高低音的自然过渡；力度值与音量/音色映射：将 MIDI 力度值(0~127)线性映

射为发声音量(0~100),同时结合力度值调节音色层次,高力度触发时增加泛音,低力度触发时弱化泛音,最大程度还原真实钢琴的演奏手感与音色变化;硬件级音频驱动配置:摒弃传统软解方式,采用pygame.midi的directsound硬件驱动与32位浮点音频格式,直接调用计算机底层音频接口,从根源降低电流杂音干扰,大幅提升采样精度与发声保真度;音频参数优化调控:精准控制音符起止时间,优化音频缓冲参数,设置缓冲大小为512字节,匹配Type-C数据传输特性,避免声音卡顿或延迟;同时关闭颤音、过度混响等冗余效果,仅保留轻微自然混响,还原钢琴原声;双重精准止音:接收到Note Off指令(或力度值为0)时,采用“标准止音+强制止音”双重策略:首先发送MIDI标准止音指令,停止对应音符的发声;再发送力度0的Note On指令,强制清除音频缓冲中的残留信号,避免音符拖尾,实现精准止音。本模块使系统输出音频信噪比达98 dB,未检测到可闻电流声或爆音,实现了发声延迟 $\leq 5\text{ ms}$ 的高保真音频输出,音色适配精准、音域过渡自然,演奏力度可精准映射至音量与音色层次,满足基础音乐教学与演奏的音频需求。

4. 系统测试与教学应用实证

4.1. 测试环境与指标设计

为验证系统的性能与实用性,搭建硬件-软件联合测试环境,模拟便携演奏、基础智能教学、设备调试三大实际应用场景,全面测试系统的各项性能指标[14]。硬件环境包括24键磁吸电钢琴(Type-C/蓝牙双接口、内置MIDI转换芯片)、华为MateBook 14轻薄本(Type-C 3.0接口)、Type-C 3.0高速数据线、专业监听耳机;软件环境包括Windows 10专业版、Python 3.9及表1中四款核心开发库;测试工具包括MIDI延迟测试仪、音频杂音检测仪、Python性能监控工具、色彩视觉识别检测仪。针对设备通信适配、MIDI数据传输、计算机视觉可视化呈现、音频发声渲染四大维度,设计10项量化测试指标,每项指标重复测试50次取平均值,确保测试结果的客观性、可靠性与普适性。

4.2. 系统性能测试结果

系统整体性能量化测试结果如表3所示,各项核心指标均达到并优于设计要求,24键电钢琴Type-C MIDI适配的四大核心问题均得到有效解决。设备通信适配模块实现了100%的设备扫描识别率,Type-C接口拔插后2 s内即可完成自动重连,连续运行6 h无断连,硬件通信稳定性优异;MIDI数据传输模块的端到端传输延迟 $\leq 7\text{ ms}$,远低于人耳感知阈值,指令解析与有效数据过滤准确率均达100%,实现了电钢琴与计算机的实时、准确数据交互;计算机视觉可视化呈现模块实现了物理-虚拟琴键、基础音符-七色视觉的双重100%精准映射,颜色动态变化流畅,视觉反馈实时直观;音频发声渲染模块使系统输出音频信噪比达98 dB,未检测到可闻电流声或爆音,发声延迟 $\leq 5\text{ ms}$,音色适配精准、音域过渡自然,止音精准无拖尾。同时,系统在轻薄本上连续运行6小时无卡顿,内存占用 $<200\text{ MB}$ 、CPU占用率 $<15\%$,轻量化特性显著,可适配主流便携计算机设备,完全符合24键磁吸电钢琴的便携演奏与智能教学应用场景。

Table 3. Quantitative testing results of overall system performance
表3. 系统整体性能量化测试结果

测试类别	测试指标	设计测试标准	实际测试结果	达标情况
设备通信适配	设备扫描识别率	$\geq 99\%$	100%	达标且优于标准
设备通信适配	Type-C 拔插重连时间	$\leq 3\text{ s}$	$\leq 2\text{ s}$	达标且优于标准

续表

设备通信适配	端口绑定稳定性	连续 6 h 无断连	连续 6 h 无断连	达标
MIDI 数据传输	数据传输延迟	≤10 ms	≤7 ms	达标且优于标准
MIDI 数据传输	指令解析准确率	≥99%	100%	达标且优于标准
MIDI 数据传输	有效数据过滤准确率	100%	100%	达标
计算机视觉可视化	七色音符映射准确率	100%	100%	达标
音频发声渲染	音频杂音消除效果	完全消除电流杂音	无任何杂音	达标
音频发声渲染	音频发声延迟	≤10 ms	≤5 ms	达标且优于标准

4.3. 基于《孤勇者》的智能音乐教学应用实证

为验证系统在智能音乐教学中的实际应用价值与教学辅助效果，结合经典流行曲《孤勇者》电子琴简谱开展教学应用实证[15]，该简谱的音域完全适配 24 键电钢琴的演奏范围，简谱明确划分前奏、主歌、副歌三部分，规定左手低音、右手高音的演奏规则，同时提出主歌少用延音与力度、副歌强化力度与延音的教学要求，符合基础音乐教学的循序渐进原则。

将本系统应用于基础音乐教学课堂，选取 40 名钢琴入门学习者作为实验对象，随机均分为实验组与对照组，实验组采用本研究设计的计算机视觉融合 MIDI 智能适配系统开展教学，学习者通过计算机视觉融合的七色音符虚拟琴键直观识别基础音符，结合动态力度色彩反馈掌握演奏轻重技巧，通过高保真音频渲染提升演奏体验，通过虚拟琴键的信息叠加显示快速掌握音符与 MIDI 编号的对应关系；对照组采用传统视频教学法开展教学，通过观看演奏教学视频、使用常规电子琴进行练习，无视觉色彩映射与实时力度反馈。教学实证结果表明，实验组学习者能快速通过色彩视觉映射识别基础音符，演奏熟练度与准确率较对照组提升 40%以上，对演奏力度的把控能力较对照组提升 35%，系统的计算机视觉可视化交互与精准的音频反馈有效降低了基础钢琴教学的难度，提升了教学效率与趣味性，充分验证了系统在智能音乐教学中的实际应用价值与创新性。

5. 结论

本文融合计算机视觉、轻量化通信技术与音乐演奏教学逻辑，设计 24 键电钢琴 Type-C MIDI 智能适配系统，构建四层解耦架构，通过图表具象化复杂底层理论，创新实现基础音符 - 七色的计算机视觉 1:1 动态映射，设计双校验设备识别、双重止音等核心策略。测试表明，系统设备识别与映射精准度均达 100%，端到端通信延迟 ≤7 ms，系统输出音频的信噪比达 98 dB，未检测到可闻电流声或爆音。结合《孤勇者》简谱设置实验组与对照组完成对比教学实证，验证了系统的教学辅助价值与实用性。本研究基于现有技术完成多模块集成优化，在 24 键磁吸电钢琴 Type-C MIDI 适配的特定应用场景下实现了技术突破，填补了 Type-C MIDI 与 Python 虚拟钢琴适配的技术空白，所设计系统取得良好的工程应用效果，为电钢琴数字化开发与智能音乐教学融合提供了创新的音数融合方案。后续可优化移动端适配、增加教学曲库与智能纠错功能，进一步拓展应用场景。

参考文献

[1] 王梓宸. 人工智能在音乐中的应用及其发展策略研究[J]. 北方音乐, 2020, 40(22): 211-213.
[2] 文海良. 浅析人工智能在音乐编曲中的应用[J]. 美与时代(下), 2020(3): 91-93.
[3] 陈世哲. 浅谈人工智能技术在音乐创作中的应用[J]. 音乐探索, 2020(1): 125-132.
[4] 刘灏. 人工智能与计算机作曲: 前提、技术与问题[J]. 音乐艺术(上海音乐学院学报), 2019(4): 137-144.

-
- [5] 刘灏. AI 技术在音乐领域的探索与应用——对于中国民族乐器种类以及乐器技法的识别[J]. 人民音乐, 2019(10): 20-23.
 - [6] 娄云青. 浅谈 MIDI 音乐的人性化处理[J]. 黄河之声, 2019(16): 64.
 - [7] 王蕾, 孙通. 钢琴教学分析——以儿童为例[J]. 北方音乐, 2019, 39(18): 220-221.
 - [8] 陈业欣, 丰大军, 张蓓. 基于 Arduino 的多轨道 Midi 音序器的实现[J]. 信息技术与网络安全, 2019, 38(5): 67-70.
 - [9] 郭振琪. 钢琴发声中的物理原理[J]. 中学物理教学参考, 2018, 47(10): 48-49.
 - [10] 王春明. MIDI 技术的发展及其存在问题的解决[J]. 电声技术, 2004, 28(5): 65-67.
 - [11] 牛育谦, 杨艺媛. 基于 MIDI 控制器的软音源插件自动控制系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(5): 129-133.
 - [12] 鲁志伟, 闫金萌. 基于 Arduino 的智能家居无线控制系统设计与实现[J]. 通信与信息技术, 2023(2): 13-16.
 - [13] 丁晓军. 谈 MIDI 音乐的审美特征[J]. 北方音乐, 2017, 37(6): 25.
 - [14] 丁晓军. 从 MIDI 音乐看音乐表现中的“变数”[J]. 艺术科技, 2016, 29(2): 171.
 - [15] 李春明. 浅谈数字播出通路与导播应急操作[J]. 电视技术, 2013, 37(8): 70-73+76.