

一种历史影像资料数字化智能修复及管理方案

刘胜娟, 李金龙

浙江传媒学院, 浙江 杭州 310000

DOI: 10.61369/TACS.2025050047

摘 要 : 随着人工智能 (AI) 在图像处理领域的突破, 对承载着珍贵历史文化信息的历史影像进行抢救性保护和再利用已成为可能。从物理载体 (主要为胶片与磁带) 的数字化转换, 到基于 AI 与人工协同的精细画面修复, 再到专业的媒体资产管理系统, 系统性地研究并提出了一套针对历史影像视频资料 (主要为胶片与磁带) 的智能修复与管理解决方案。

关 键 词 : 历史影像; 数字化; 智能修复; 媒资管理

An Intelligent Digital Restoration and Management Solution for Historical Video Materials

Liu Shengjuan, Li Jinlong

Communication University of Zhejiang, Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract : With breakthroughs in Artificial Intelligence (AI) for image processing, it has become possible to rescue, preserve, and repurpose historical footage carrying invaluable cultural and historical information. From the digitization of physical carriers (primarily film and tape) to AI-assisted manual restoration of fine details, and finally to a professional media asset management system, this study systematically explores and proposes an intelligent restoration and management solution for historical video materials (mainly film and tape).

Keywords : historical video materials; digitization; intelligent restoration; media asset management

引言

历史影像作为最直观、最生动的记录载体, 承载着不可替代的历史价值、文化价值与情感价值。胶片与磁带作为二十世纪最主要的视听记录媒介, 见证了无数重要的历史时刻, 是宝贵的遗产。然而, 胶片面临着脆化、收缩、霉变、醋酸综合症 (Vinegar Syndrome)^[1]等物理化学降解问题; 磁带则饱受磁粉脱落、粘连、消磁、载体老化之苦。^[2]这些珍贵的“时间胶囊”正走向物理性消亡。

数字技术的飞速发展挽救濒危影像带来了机遇。人工智能 (AI) 在计算机视觉领域的突破性进展, 特别是深度学习在图像 / 视频处理、理解与生成方面的强大能力, 为高效、高质量的视频修复提供了全新的技术路径^[3,4]。云计算、高性能计算则提供了强大的算力支撑。因此, 研究一套系统性的智能化修复和管理方案成为亟需解决的问题。

一、资料数字化

(一) 清洗和物理修复

在对胶片 / 磁带进行扫描或转录前, 必须对物理载体进行全面的评估和预处理, 包括:

状态评估: 检查胶片是否有脆化、断裂、收缩等情况, 或磁带是否有粘连、掉磁、褶皱等问题。

物理清洁: 针对胶片或磁带表面的灰尘、霉斑和污渍, 使用专业的清洁工具和溶剂进行清除。针对霉变受潮严重的磁带采用人工手工拆解的方式, 将胶片 / 磁带全部拆解出来, 在恒温恒湿的专业环境中进行除湿除霉、阴干、整合。

物理修复: 对轻微的胶片断裂进行接补, 对粘连的磁带进行“烘烤” (Baking) 处理, 以确保其能够在数字化设备上平稳运行。

(二) 胶片数字化

为确保高质量的数字母版, 分辨率、动态范围、扫描速度等技术参数, 是选择胶片数字化设备的重要指标。本方案采用 Cintel BMD 4K 扫描仪的高性能硬件与具有强大软件功能 DaVinci Resolve 的组合方案, 适合专业影视制作和档案保存需求。该扫描仪支持多种胶片类型 (如正片、负片等) 和规格 (35mm 和 16mm 等), 最大扫描分辨率可达 4K。该扫描仪能实时扫描并处理胶片影像, 与采用逐格停顿扫描方式的非实时传统扫描仪相比, 支持

项目 / 基金信息:

- 由浙江省影视媒体技术研究重点实验室 (编号 2020E10015)[KeyLab of Filmand Ty Media Technology of Zhejiang Province(No.2020E10015)] 资助。
- 由青年教师科研提升计划项目 (ZC23XJ018) 资助。
- 由媒体内容存储与管理浙江省一流课程资助。

连续运动扫描，速度更快。

通过扫描仪与 DaVinci Resolve 深度集成，通过 Thunderbolt 3 或 PCIe 将扫描后的胶片影像直接导入 DaVinci Resolve 当中，进行剪辑、调色、画幅重构、降噪以及提取音频等处理。由于其具有比硬件控制更为强大和丰富的功能，通过 DaVinci Resolve 操作扫描仪能获得比普通胶转磁技术灵活的控制。

（三）磁带数字化

对于磁带类视频，数字化过程主要涉及专业播放设备和高质量的采集编码。

其中，播放设备：必须使用与原始磁带格式相匹配的专业级视频磁带录放机（VTR），如 Betacam SP、U-matic、DVCAM 等。转录时应确保其磁头洁净、走带平稳。信号采集与编码：从 VTR 输出的模拟或数字基带信号，通过高质量的视频采集卡（如 Blackmagic Design 等品牌）转换为无压缩或低压缩的文件。采用 10-bit 或更高位深的采样，并编码为 ProRes、DNxHD 等专业级中间编码格式，可保留最大的后期处理空间。

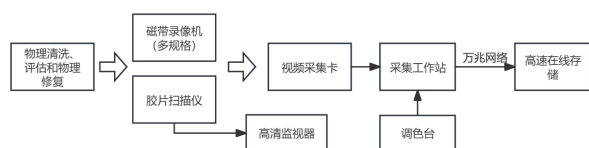


图1 数字化工作流程图

二、视频智能修复

（一）视频智能修复流程概述

采用 AI 和人工修复协同工作的方式，流程包括：

（1）AI 视频修复：利用 AI 模型对视频进行初步的、全局性的修复，快速处理常见的、重复性高的问题，如噪点、抖动、闪烁和划痕等。

（2）人工质量评估：对 AI 处理后的结果进行逐帧或逐镜头的审核。识别出 AI 未能完美处理的复杂瑕疵、引入的算法“幻觉”（artifacts）或需要艺术判断的场景。

（3）精细化人工修复：使用专业的修复软件（如 DaVinci Resolve, Diamond 等），对 AI 处理不佳的部分进行手动修复。

（4）最终质量审核：专业人员对最终成品进行审核，确保技术质量和艺术表达均达到标准。

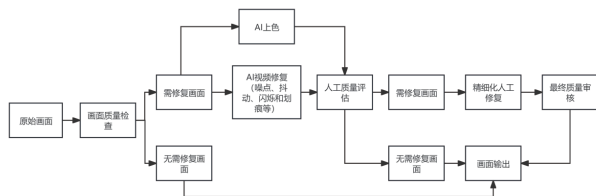


图2 视频智能修复流程

（二）视频智能修复系统

系统主要对数字化后的视频文件进行修复和质量提升，主要功能包括：AI 和人工相结合的视频修复提质。基于 AI 的方法用于

视频总体修复和内容增强，人工手动的方法用于细节的精修，以弥补单纯 AI 方法的不足。需要首先对视频进行分卷和分镜处理，将视频分割成最小单元，通过软件工具对视频进行逐帧精修。对于黑白影像资料，基于 AI 上色功能进行场景自适应上色，并通过人工修复去除 AI 上色的瑕疵。

系统主要功能模块介绍如下：

（1）AI 修复和画质增强

AI 修复包括去划痕、抗锯齿、去块、去模糊、边缘锐化、去噪、去雾、局部提亮等功能。画质增强包括 AI 超分处理，AI 插帧处理、HDR 上变换。AI 超分辨率基于 AI 深度学习模型，将分辨率提升至 2K、4K 甚至更高^[6,9]。同时集成了针对文字、人脸、物件的多种去噪优化算法，智能消除 ROI（Region Of Interest）区域图像瑕疵。

（2）人工修复

人工修复采用专业的修复软件，Diamant-Film Restoration 视频修复软件，该软件功能强大，可以修复多种类型的影片的缺陷：灰尘和污垢、闪烁、不稳定或晃动、线划痕、颗粒和噪音、颜色退化、污渍、通道分离、相机或门毛，以及红外掩模哑光缺陷等。

（3）智能上色

AI 上色功能基于多 GPU 并行加速技术，利用 GPU 间高速互联总线实现大数据量、大模型的并行化处理。上色的后端服务主要包含 3 块服务：视频检测、视频上色、视频编码。视频检测，解析原视频媒体信息、画质特征、模版参数等，匹配最合适的上色模型；视频上色，对视频进行解码，利用 AI 模型基于参考帧进行上色处理；视频编码，按照模版设置的输出参数，编码压缩成视频文件输出。

（三）AI 转人工修复的触发条件和质量评估标准

建立明确的质检标准和合理采用 AI 修复还是人工修复是保证修复质量和效率的关键。AI 转人工修复触发条件包含以下几种情况：

（1）残留复杂瑕疵：如大面积霉斑、严重的胶片卷曲变形、复杂的划痕交叉等。

（2）AI 算法副作用明显：如重要纹理（皮肤、布料）被过度平滑、产生不自然的“塑料感”、物体边缘出现光晕或伪影。

（3）关键信息失真：如人脸、文字、标志性建筑等关键元素的细节被错误修复或模糊化。

（4）色彩与动态不一致：上色结果出现明显的色彩偏差或色彩跳跃；动态修复导致不自然的“肥皂剧效应”^[7]等。

质量评估标准：修复效果的评估需结合客观与主观指标^[8,9]。客观上，峰值信噪比（PSNR）和结构相似性指数（SSIM/MS-SSIM）是常用的衡量标准。然而，这些指标有时与人眼感知不完全一致，因此必须辅以专业人员的主观视觉评估，以确保在去除瑕疵和保留“胶片感”之间取得最佳平衡。

三、媒资内容管理与存储

媒体资源管理针对数字化内容，音视频修复提质内容，分卷

分镜内容，片段修复前后、调色前后内容进行管理和分级存储，以及对修复过程中用到的关键帧及修复元素进行关联的全媒体生命周期管理和存储，方便后期检索和提取。

采用三级存储架构：分布式在线存储、蓝光近线存储^[10]、离线存储。分布式在线存储，能够实现存储节点的横向灵活扩展，最大可扩展至1000PB容量，采用 Scale-out 架构让性能随节点增加而增加。近线和离线存储，修复制作完成的素材通过管理服务器上载到蓝光备份库中，需要用时通过管理服务器回迁。光盘存储系统包含1个基本单元和1个扩展单元。光盘盒数量不少于30盒，总容量为165TB，读取速度不低于375MB/s。离线存储的光盘不少于1.8PB。

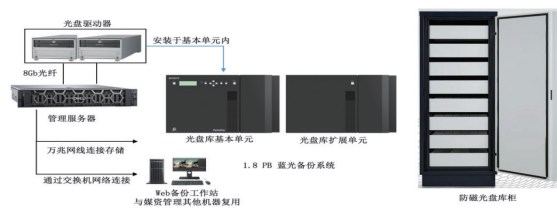


图3 蓝光备份存储系统架构图

四、结论

本研究提出的方案是一个集成了高端硬件、前沿 AI 技术、精细化人工技艺和智能化资产管理的综合体系。以质量为先为前提，采用人机协同的工作模式，采用标准化、模块化的技术架构，确保系统的可扩展性和未来适应性。通过实施此方案，能够将濒危的珍贵的历史影像资料以高品质的永久保存下来，使其在教育、研究、文创开发等领域焕发新的生命力，实现文化价值和社会效益的最大化。

参考文献

[1]National Film Preservation Foundation. The Film Preservation Guide[M/OL]. 4th ed. San Francisco: NFPF, 2020[2024-07-20].

[2]UNESCO. Recommendation on the Preservation of Documentary Heritage[R/OL]. Paris: UNESCO, 2015[2024-07-20].

[3]Zhang K, Li Y, Zuo W, et al. Deep learning for video restoration: A comprehensive review[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2021, 43(12): 4324-4345. DOI: 10.1109/TPAMI.2021.3053165.

[4] 腾讯优图. 基于多模态学习的百年老片修复系统 [R]. 中国计算机大会 (CNCC) 报告, 2023.

[5]Wang Z, Chen J, Hoi S C H. Deep learning for image super-resolution: A survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2021, 43(10): 3365-3387.

[6] 潘永杰. 基于智能算法的视频修复及超高清重制技术应用研究 [J]. 广播与电视技术, 2023, Vol.50(6).

[7]BBC Research & Development. Phantom frame: AI-based film restoration[R/OL]. (2022)[2024-07-20].

[8] 王惠明, 欧臻彦, 王倩男等. 8K 超高清视频质量客观评测方法研究 [J]. 现代电视技术, 2022, (10): 116-121.

[9] 李厦, 张乾, 汪芮等. 网络视听节目平台视频技术质量评测方法及结果分析 [J]. 广播与电视技术, 2024, 51(02): 27-30.

[10] 张云珠. 蓝光 + 双归档存储模式在融媒体内容管理系统中的应用 [J]. 现代电视技术, 2023, (05): 153-155.