

从展柜到指尖：基于Unity的战国简牍博物馆触摸屏交互系统设计与实现

吴怡然，陈思同，管文双，曾心一

北京印刷学院新媒体学院，北京

收稿日期：2026年5月25日；录用日期：2026年8月7日；发布日期：2026年8月17日

摘要

针对战国简牍类文物在传统博物馆展陈中存在的展出受限、细节辨识困难以及公众理解门槛较高等问题，本文基于Unity引擎与UGUI系统设计并实现了一套面向博物馆触摸屏场景的数字化交互展陈系统。系统围绕郭店楚简、王家咀楚简、秦家咀楚简及里耶秦简等代表性简牍资源，构建了“原图-释文-译文”多层次信息展示结构，并实现了单指拖拽、双指缩放、专题分页、同屏对比与自动重置等交互功能。在工程实现方面，系统采用资源动态加载、WebP图像压缩、AssetBundle分包管理及离线运行等策略，以提升展厅环境下的运行稳定性与设备适配能力。研究表明，该系统能够在保证长期稳定运行的基础上，提高观众对简牍文字细节及相关历史信息的阅读效率，为简牍类文物的数字化传播与博物馆轻量化交互展示提供了可参考的实现路径。

关键词

Unity引擎，博物馆交互系统，战国简牍，触摸屏，数字化展陈

From the Display Case to the Fingertips: Design and Implementation of the Touchscreen Interactive System for the Warring States Bamboo Slip Museum Based on Unity

Yiran Wu, Sitong Chen, Wenshuang Guan, Xinyi Zeng

School of New Media, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing

Received: May 25, 2026; accepted: August 7, 2026; published: August 17, 2026

文章引用: 吴怡然，陈思同，管文双，曾心一. 从展柜到指尖：基于 Unity 的战国简牍博物馆触摸屏交互系统设计与实现[J]. 软件工程与应用, 2026, 15(4): 568-577. DOI: 10.12677/sea.2026.154052

Abstract

Aiming at the problems of limited physical display, difficulty in identifying details, and high public comprehension barriers for Warring States bamboo slips in traditional museum exhibitions, this paper designs and implements a digital interactive exhibition system for museum touchscreen scenarios based on the Unity engine and UGUI system. Focusing on representative bamboo slip collections including the Guodian Chu Slips, Wangjiazui Chu Slips, Qinjiazui Chu Slips, and Liye Qin Slips, the system constructs a multi-level information presentation structure consisting of “original image-transcribed text-modern Chinese translation”. It also implements interactive functions such as single-finger dragging, two-finger zooming, thematic paging, side-by-side comparison, and automatic reset. In terms of engineering implementation, the system adopts strategies including dynamic resource loading, WebP image compression, AssetBundle management, and offline operation to improve operational stability and device adaptability in exhibition hall environments. The study shows that this system can enhance visitors’ reading efficiency of detailed bamboo slip inscriptions and related historical information while ensuring long-term stable operation, providing a reference implementation path for the digital dissemination of bamboo slip artifacts and lightweight interactive display in museums.

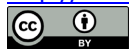
Keywords

Unity Engine, Museum Interactive System, Warring States Bamboo Slips, Touchscreen, Digital Exhibition

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. 引言

简牍是先秦两汉时期重要的文字书写载体，广泛用于典籍记录、行政文书、法律条令及数术文献等领域，对中国古代思想史、制度史与社会史研究具有重要价值。近年来，湖北地区出土的郭店楚简、王家咀楚简、秦家咀楚简以及里耶秦简等文献材料，为研究战国至秦代的文化传播、政治制度与知识体系提供了重要依据。

然而，由于简牍多由竹木材质制成，其保存条件对光照、温湿度与展示环境具有较高要求，大量文物长期处于封存或低频展出状态。即便进入展厅，观众通常也难以在有限观看距离内辨识文字细节、编联关系及削改痕迹，传统“实物 + 说明牌”的展示方式在信息容量与交互体验方面存在一定局限([1], p. 92)。国家文物局发布的《“十四五”文物保护和科技创新规划》提出，应加强简牍、帛书等脆弱有机质文物的数字化保护与智能展示研究，为相关数字展陈技术的发展提供了政策支持[2]。

在数字文博快速发展的背景下，交互式触摸屏逐渐成为博物馆公共传播的重要媒介。相比于传统静态展陈，数字交互系统能够通过图像放大、信息联动、专题导航与对比阅读等方式，提升观众对文物内容的理解效率，并在一定程度上缓解文物保护与公众展示之间的矛盾[3]。Unity 引擎因其跨平台适配能力、较为成熟的 UGUI 系统以及较低的开发门槛，被广泛应用于数字展陈与互动媒体开发领域[4]。

基于上述背景，本文以战国简牍数字化传播为目标，选取代表性简牍文献，设计开发适配博物馆触摸屏的交互系统。系统采用古风视觉风格，集成拖拽、缩放、同屏对比等交互功能，并运用轻量化资源

策略满足场馆长期运行需求。本文旨在打造兼顾学术性、体验性与实用性的简牍数字展陈方案，为中小型博物馆数字化建设提供思路。

2. 相关研究综述

2.1. 数字技术在文化遗产保护中的应用

数字技术已逐渐成为文化遗产保护与展示的重要支撑手段，相关研究覆盖文物采集、数字修复、信息存储及交互传播等多个环节([1], p. 91)。

在文物保护层面，高精度扫描、图像增强与光谱分析等技术能够在非接触条件下获取脆弱文物信息，为简牍、帛书等有机质文物的数字化保存提供技术基础。近年来，AI 图像修复与古文字识别技术的发展，也为残损简牍的辅助释读与信息复原提供了新的研究路径[5]。

在展示传播层面，数字技术突破了传统静态陈列的限制。研究表明，通过图像、文字、动画与交互查询等方式整合展示内容，能够提升观众对文化遗产信息的理解效率，并增强展览的参与感与可读性([3], p. 50)。针对简牍类文物，数字展示不仅能够降低实体文物长期展出的风险，还能够实现原图、释文与译文的同时呈现，从而拓展公众对简牍内容的认知深度。

傅倬淞等在关于里耶秦简数字化研究的讨论中指出，当前简牍数智化建设已逐渐形成图像增强、文字识别、数据管理与数字传播相结合的发展趋势，但仍面临标准体系不统一、图像质量差异较大以及复杂字形识别困难等问题[5]。综合现有研究可以发现，当前文化遗产数字化保护已在文物采集、数字修复、数据库建设等方面形成较为成熟的技术体系，但相关成果更多聚焦资源制作与学术研究，面向博物馆展厅、兼顾硬件条件、阅读体验与长期运行的轻量化交互展示方案较为欠缺。因此，构建兼顾展示、传播与工程部署的轻量化交互系统，仍具有一定研究价值。

2.2. Unity 引擎在交互展陈中的应用

Unity 拥有跨平台、实时渲染、模块化开发等优势，在数字展陈领域应用广泛，其 UGUI 可快速实现导航、图像交互与动画效果，适配博物馆触摸屏场景。

在文博领域，Unity 常被用于虚拟展馆、互动导览及数字文物展示等系统开发。夏方方等基于 Unity 构建了智能交互虚拟文物展览馆系统，并讨论了交互导航与信息展示的实现方式[4]。相关研究表明，Unity 在二维界面交互、多端适配以及快速迭代方面具有较高开发效率，适合中小型博物馆开展轻量化数字改造。

除此以外，Unity 支持功能模块拓展与离线稳定运行，契合场馆长期使用需求，故本文选用该引擎开发系统。然而，目前相关研究多侧重三维漫游与沉浸式体验，针对简牍展示所需的高清图像浏览、图文联动等功能研究较少，因此本文面向二维文献场景开展轻量化交互系统设计。

2.3. 触摸屏交互在博物馆中的实践

随着数字展陈的发展，触摸屏逐渐成为博物馆信息传播的重要媒介。相比传统说明牌，触摸屏能够提供更丰富的信息层级与更主动的浏览方式，在文物细节展示与互动阅读方面具有明显优势([6], p. 24)。

针对考古与简牍类文物，触摸屏交互通常采用“原图 - 释文 - 译文”的层级化信息结构，结合基础手势操作优化阅读体验([6], p. 37)，多地展馆实践也证实了该形式的应用价值。

同时，触摸屏系统还具备成本低、兼容性好、易维护的特点，适配多数场馆硬件条件[7]。对于中小型场馆而言，轻量化、可离线运行的数字交互方案具有较高实际应用价值。总体来看，现有系统虽可实现基础浏览，但普遍存在图文联动弱、对比阅读功能欠缺、长期运行稳定性不足等问题。为此，本文围绕战国简牍，搭建图文联动展示机制，并搭配资源优化策略，研发适配展厅长期使用的交互系统。

3. 触摸屏交互系统设计

3.1. 展陈内容与信息架构

本系统以“荆楚文章－战国简牍”为主题，围绕郭店楚简《老子》、王家咀楚简《孔子曰》与《乐谱简》、秦家咀楚简《尚书·吕刑》《九九术》以及里耶秦简《九九表》等内容展开数字化展示设计。

为兼顾学术信息呈现与公众阅读体验，系统采用层级化的信息架构组织展示内容。整体结构主要包括待机首页、专题浏览层、对比展示层以及全局导航层四部分，数字化展陈系统拓扑信息架构见图 1。



Figure 1. Topology information architecture diagram of digital exhibition display system
图 1. 数字化展陈系统拓扑信息架构图

在首页界面中，系统通过动态水墨背景与纵向专题按钮构建基础视觉入口，观众可通过触摸操作进入不同简牍专题。专题浏览层采用“原图－释文－译文”三级信息结构：原图用于展示简牍高清扫描内容；释文用于对应古文字整理结果；译文则提供面向公众的现代语言解释，以降低阅读门槛，战国简牍系统首页示意图见图 2，战国简牍系统二级浏览界面见图 3。



Figure 2. Homepage illustration of the Warring states bamboo slips system
图 2. 战国简牍系统首页示意图

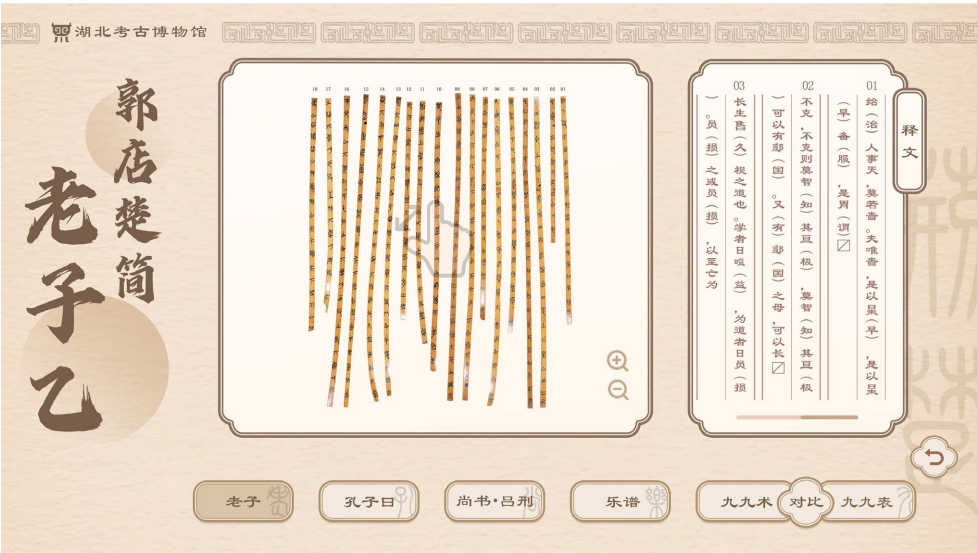


Figure 3. The secondary browsing interface of the Warring States bamboo slips system
图 3. 战国简牍系统二级浏览界面

针对《九九术》与《九九表》等具有明显历史关联性的内容，系统进一步设计了同屏对比模块。用户可在左右分屏中分别浏览两组文献内容，并进行独立缩放与拖拽，以观察不同时期数学文献在内容与形式上的差异，战国简牍系统对比模块界面见图 4。

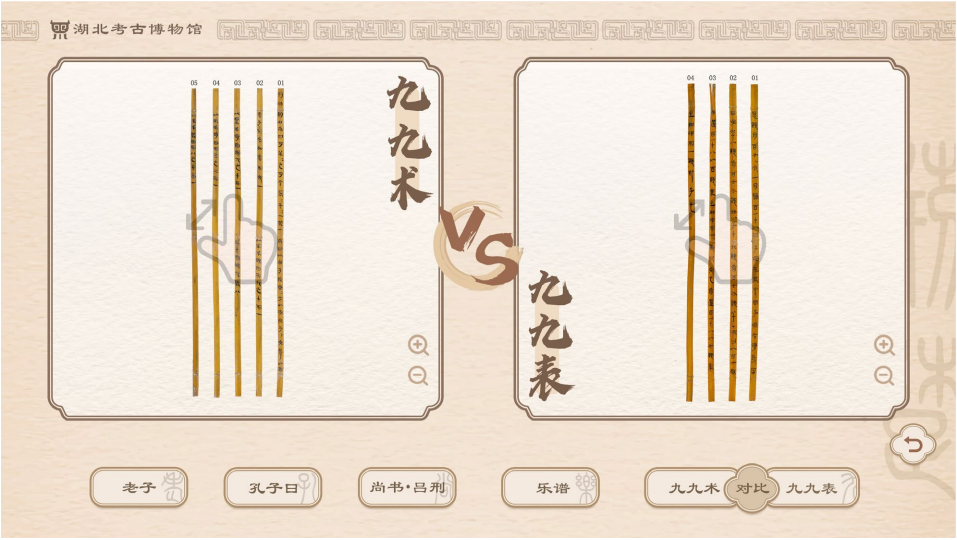


Figure 4. The interface of the comparison module for the Warring States bamboo slips system
图 4. 战国简牍系统对比模块界面

此外，系统底部设置固定导航栏，支持用户在不同专题之间快速切换，从而提升展厅环境中的操作连续性与浏览效率。

3.2. 交互设计

考虑到博物馆触摸屏以公众自主操作为主，系统在交互设计上强调操作直观性、阅读连续性与长期运行稳定性。

3.2.1. 手势交互设计

系统主要支持单指拖拽、双指缩放与分页浏览三类基础操作。

单指拖拽用于浏览长幅简牍图像。系统通过触摸位移实时更新图像位置，并在拖拽过程中加入边界限制逻辑，以避免图像移出可视区域。双指缩放用于观察文字细节与编联痕迹，系统根据两指间距离变化动态调整图像缩放比例，同时限制缩放范围，避免因过度放大或缩小影响阅读体验。

在专题浏览过程中，系统还提供分页切换功能。用户可按照简册顺序浏览不同页面内容，以模拟连续阅读体验。

3.2.2. 信息联动与对比展示

为提高简牍内容的阅读效率，系统建立了图像与文本之间的联动机制。当用户浏览或定位某一简牍区域时，对应释文内容能够同步滚动并高亮显示，从而减少观众在原图与文字说明之间频繁切换带来的阅读中断。

在《九九术》与《九九表》的对比展示中，系统采用左右分屏结构。两侧图像分别独立响应触摸事件，用户可同时观察不同历史时期数学文献的文字内容与版式特征，以增强展示的比较阅读效果。

3.2.3. 自动重置机制

由于博物馆展厅存在高频次、离散化的公共操作特点，系统设计了自动重置功能。当设备在一定时间内未检测到有效触摸输入时，系统将自动返回首页，并执行资源清理与状态重置，以保证后续观众能够快速进入正常浏览状态。

3.3. 视觉设计

系统视觉设计以战国简牍的材质特征与文化氛围为主要参考，整体界面采用低饱和色彩与竹木纹理元素，以增强数字展陈与文物内容之间的风格统一性。

在色彩设计上，系统以深棕色与浅米色作为主要视觉基调，用于模拟竹木与纸张的自然质感，同时降低大屏长时间观看带来的视觉疲劳。界面按钮、边框与分隔元素则参考简牍与楚地纹样进行简化设计，以增强整体文化识别度。

在动态效果方面，系统通过渐变、淡入与平滑移动等动画方式优化界面切换过程。专题页面在进入与退出时采用缓动动画，以提升界面过渡的连贯性，并减少突兀跳转带来的视觉干扰。

4. 关键技术实现

4.1. 开发环境与工具链

Table 1. Development configuration
表 1. 开发配置

工具类型	软件名称及版本	主要用途
游戏引擎	Unity 2020.3.1 LTS	交互系统主开发平台，实现 UI、逻辑与渲染
集成开发环境	Visual Studio 2019	C#脚本编写、调试与代码管理
图像处理	Adobe Photoshop 2022	简牍图像修复、透明底处理、UI 素材制作
动画与特效	Adobe After Effects 2022	动态背景视频制作、交互动画特效设计
视频剪辑	Adobe Premiere Pro 2022	启动视频、宣传演示视频的剪辑与合成
版本控制	Git (Git LFS)	项目代码及大文件资源的版本管理与协同开发

本系统基于 Unity 2020.3.1 LTS 开发，搭配 Visual Studio 2019 编写调试 C#脚本；使用 Photoshop、After Effects、Premiere Pro 完成美术素材、动态背景与视频制作；采用 Git + Git LFS 实现项目版本与大文件管理。完整工具配置如表 1 所示。

4.2. 原图 - 释文 - 译文联动机制实现

图文联动是本系统的核心功能，为实现简牍图像、古文字释文与现代译文的同步匹配、联动浏览，本文从数据标注、数据结构、匹配算法三方面完成整体设计与开发。

4.2.1. 图文对应数据标注方法

为建立图像与文字的精准映射关系，本文采用“区域框选 + 分段索引”的半自动标注方案，针对每一卷简牍独立完成标准化标注，具体流程如下：

- 第一，图像物理分区。基于简牍高清扫描原图，严格按照竹简编联顺序、文字行款划分基础单元，将每一行简牍文字定义为一个独立单元块；绘制矩形包围框，记录包围框在整图中的左上角像素坐标、宽度与高度，统一以图像左上角为坐标原点。
- 第二，多维度文字绑定。为每一个图像单元块依次录入三类文本数据：简牍原始释文、现代汉语译文、段落序号，遵循“一个包围框对应一行文字”的原则，保证视觉单元与阅读单元一一对应。
- 第三，全局索引编码。采用专题编号 - 简册编号 - 行号三级编码规则生成唯一索引，例如编码 G01-02-05 代表郭店楚简第 2 册第 5 行，以此关联图像坐标、释文、译文三组数据。
- 第四，人工校验修正。逐一核对文字顺序与竹简排布顺序，针对简牍残损、编联错位等特殊区域修正映射关系，保障图文匹配准确率。数据标注流程见图 5。

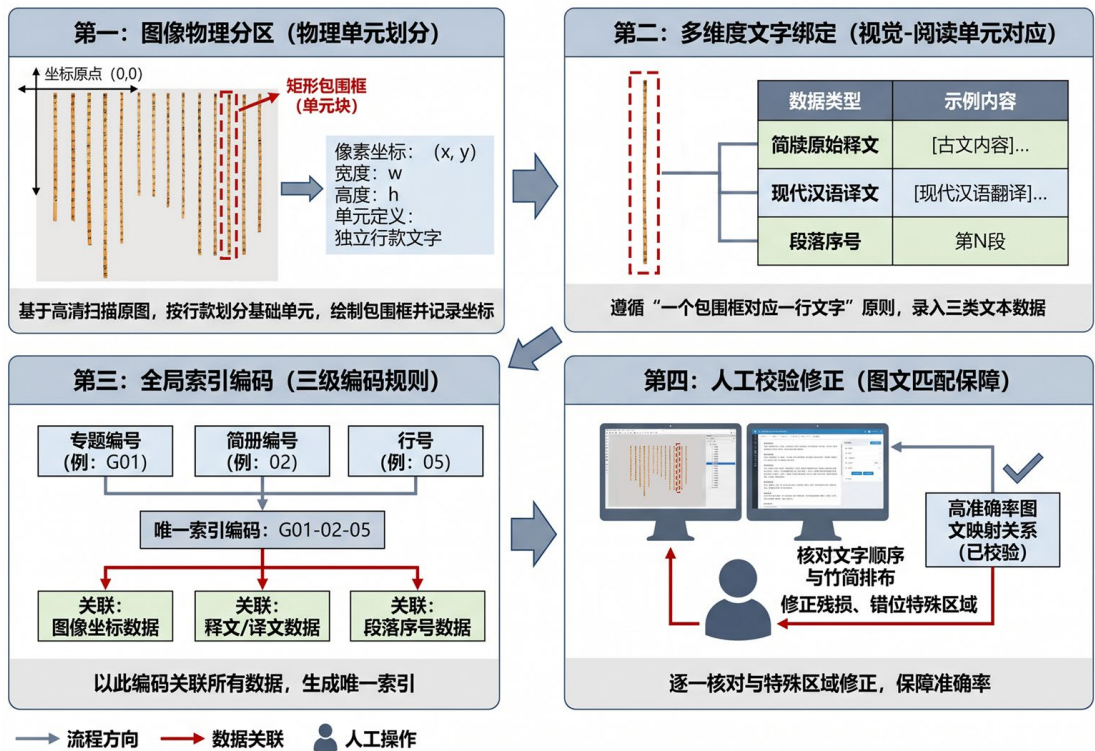


Figure 5. Flowchart of image-text correspondence data annotation
图 5. 图文对应数据标注流程图

4.2.2. 底层数据结构设计

系统基于 C#语言设计轻量化实体类存储联动数据，不依赖外部数据库，仅通过本地结构化文件实现数据调用，适配触摸屏离线运行要求。系统核心数据实体定义如下：

```
// 简牍单行图文联动数据实体
public class BambooSlipUnit
{
    public string UnitID;           //索引编码
    public float X, Y;              // 图像包围框左上角像素坐标
    public float Width, Height;     // 图像包围框宽高
    public string Transcript;        // 古文字释文
    public string Translation;      // 现代译文
}
//单册简牍有序数据集
public List<BambooSlipUnit> SlipDataList;
```

所有标注完成的数据最终序列化为 JSON 文件，与简牍图像资源一同打包至 AssetBundle。当用户进入对应简牍专题时，系统同步解析 JSON 文件并实例化数据列表，无需网络请求，加载延迟低，扁平化结构降低了硬件算力消耗。

4.2.3. 前端坐标匹配与联动算法

联动功能的核心为图像视口坐标映射 + 文本同步滚动算法，分为图像驱动文本、文本驱动图像两大运行逻辑，并增设边界容错机制。

观众拖拽、缩放简牍原图时，系统实时计算可视区域内的单元块，驱动释文与译文同步更新。首先获取图像实时缩放系数、拖拽偏移量，结合原始坐标完成换算，核心计算公式如(1)所示。

$$\begin{cases} \text{ScreenX} = X \times \text{Scale} + \text{OffsetX} \\ \text{ScreenY} = Y \times \text{Scale} + \text{OffsetY} \end{cases} \tag{1}$$

式中：X、Y 为标注阶段记录的原始像素坐标；Scale 为图像实时缩放比例；OffsetX、OffsetY 为图像拖拽偏移量；ScreenX、ScreenY 为单元块在屏幕中的实时坐标。

当观众点击释文或译文的某一行文本时，系统反向检索文本对应的唯一索引 UnitID，提取原始图像坐标，自动将图像拖拽并定位至目标区域，同时适度放大画面，实现“点文看图”的反向联动。

针对简牍残损、文字残缺、跨行浏览等场景，算法设置相邻单元容错阈值。当可视区域同时覆盖两个单元块时，优先匹配画面占比更大的单元，避免文本频繁切换闪烁，提升交互稳定性。

4.2.4. 方案优缺点分析

本套图文联动方案依托静态像素坐标与本地结构化数据实现，在实际应用中部署简单、运维成本低，契合展厅设备运行要求，同时可满足对照阅读需求，新增简牍内容仅需补充图像与标注文件，便于后期资源迭代。局限性在于前期人力成本较高，标注工作量大，场景适配单一。

4.3. 资源管理与性能优化

考虑到博物馆触摸屏通常需要长时间连续运行，系统在资源管理与性能优化方面采用轻量化处理策略，以降低运行过程中的内存占用与资源加载压力。

在图像资源处理方面，系统将高清简牍图片统一转换为 WebP 格式，在保证图像细节可读性的前提

下减小文件体积。相比传统 PNG 格式，WebP 在展厅场景中能够有效降低图片加载时间，并减少运行过程中的显存占用。

在资源组织方面，系统采用 AssetBundle 进行资源分包管理。不同专题内容以独立资源包形式进行加载，用户进入对应专题后再动态读取相关图片与文本资源，从而避免一次性加载全部内容造成的内存压力。

为进一步提高长期运行稳定性，系统在页面切换与自动返回首页过程中执行缓存清理与无用资源释放操作，包括调用 UnloadUnusedAssets 与垃圾回收机制，以减少持续运行导致的内存堆积问题，缓存清理机制执行流程见图 6。

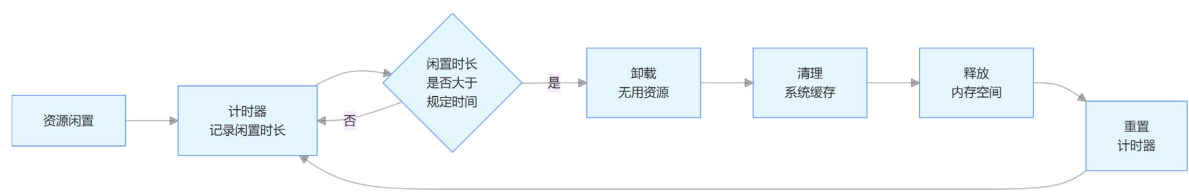


Figure 6. Cache cleaning mechanism execution flowchart
图 6. 缓存清理机制执行流程图

4.4. UI 界面与动态效果实现

系统界面基于 Unity UGUI 系统构建，整体采用模块化布局方式。首页、专题页、对比页均以独立界面模块组织，以便后续内容扩展与功能维护。

在界面布局方面，系统通过 Scroll View、Mask 与 Layout Group 等组件实现长图浏览与分页排列功能，并利用 LayoutRebuilder 动态刷新页面布局，以适配不同尺寸的触摸屏设备。

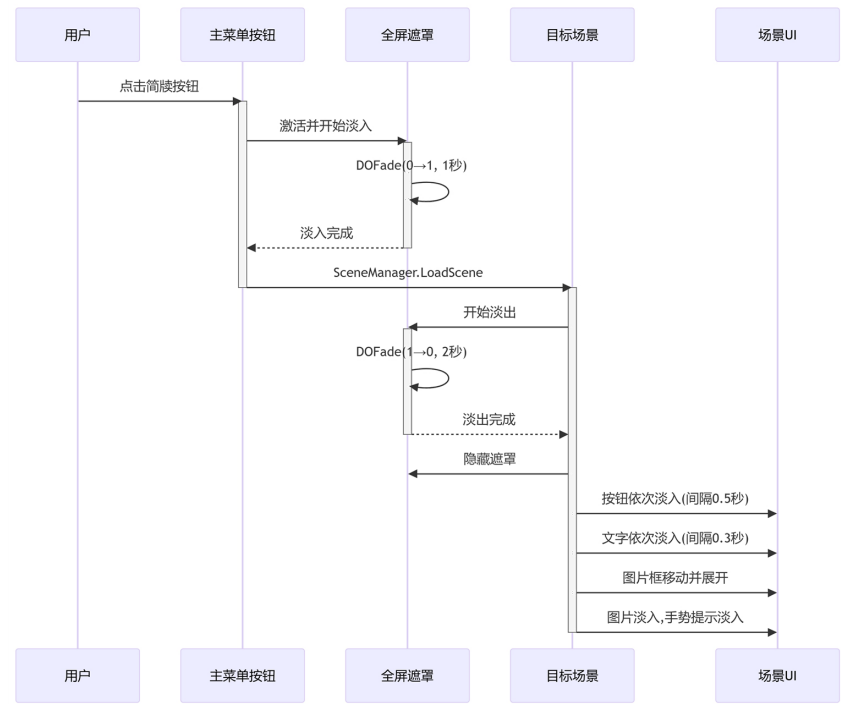


Figure 7. Sequence of timing for scene transition animation
图 7. 场景过渡动画时序图

动态效果部分主要使用 DOTween 动画插件完成,包括界面淡入淡出、按钮位移与页面切换等效果。相比使用逐帧动画方式, DOTween 能以较低性能消耗实现平滑过渡,从而提升整体交互流畅度,场景切换动画序列时序见图 7。

系统首页中的动态水墨背景则通过循环视频与透明度渐变方式实现,以增强数字展陈的文化氛围。在实际部署中,系统对背景视频分辨率与播放帧率进行了适当压缩,以避免大尺寸视频对运行性能造成影响。

5. 结论与展望

5.1. 研究结论

本文围绕战国简牍数字化传播与公共展示需求,设计并实现了一套基于 Unity 的博物馆触摸屏交互系统。系统以郭店楚简、王家咀楚简、秦家咀楚简与里耶秦简等内容为基础,构建了集图像浏览、释文阅读、译文展示与专题对比于一体的数字展陈方案。

系统通过拖拽、缩放、分页、分屏对比等交互操作,搭配“原图-释文-译文”联动结构,降低了公众研读简牍的门槛。工程层面采用 WebP 图像压缩、AssetBundle 分包、动态加载及离线运行等轻量化策略,有效提升了系统运行稳定性与设备兼容性,可满足博物馆长期使用要求。本次设计与实践,可为简牍文物数字化展陈以及中小型博物馆交互系统开发提供参考思路与工程经验。

5.2. 局限性

受项目周期与素材条件限制,当前系统在学术注释深度、版本校勘信息以及用户行为数据分析等方面仍存在不足。部分功能更偏向公共展示需求,对于专业研究者的深层次学术使用支持有限。

此外,不同博物馆设备在触摸采样率、屏幕分辨率与硬件性能方面存在差异,相关参数仍需在更多真实展厅环境中进一步测试与优化。

5.3. 未来展望

在内容建设方面,后续可引入更完整的简牍释文数据库与版本校勘信息,增强系统的学术辅助功能,并进一步完善人物、年代、制度等关联知识展示。

在交互方式方面,融入语音讲解、移动端联动等交互形式,并针对老年与未成年群体增加字体辅助、无障碍浏览等功能,提高系统的公共服务能力。

在数据研究方面,未来可结合真实用户行为记录,对观众停留时长、热点区域与交互习惯进行统计分析,从而进一步评估数字展陈系统的传播效果。

此外,随着人工智能与古文字识别技术的发展,后续还可探索 OCR 辅助释读、残损区域修复与智能知识推荐等功能在简牍数字展示中的应用,以提升系统的信息服务能力与学术扩展空间。

参考文献

- [1] 聂静虹,李肖楠.数字化赋能文化遗产保护的方法逻辑和创新路径[J].学术研究,2025(5):91-96.
- [2] 国务院办公厅关于印发“十四五”文物保护和科技创新规划的通知[EB/OL].
https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5654772.htm,2026-05-12.
- [3] 王建明,王树斌,陈仕品.基于数字技术的非物质文化遗产保护策略研究[J].软件导刊,2011,10(8):49-51.
- [4] 夏方方,郭润甲,吕镇宇,刘芳丽,郭子俊.基于 Unity 的智能交互虚拟文物展览馆[J].计算机科学与应用,2023,13(11):2080-2088.
- [5] 傅倬淞,廖柏林,李建锋,龙广玉.简牍数智化技术进展与展望:里耶秦简的数智化探索[J].吉首大学学报(自然科学版),2025,46(6):83-89.
- [6] 温芯媛.考古信息在国内考古遗址博物馆互动体验中的应用研究[D]:[硕士学位论文].郑州:郑州大学,2023.
- [7] 刘一婵,李永昌.多模态视阈下博物馆互动体验设计研究[J].设计,2024,37(4):61-63.