

# 面向全息实景地理环境的特色建筑增强显示方法研究

黄佳琪

河北工程大学地球科学与工程学院, 河北 邯郸

收稿日期: 2026年5月6日; 录用日期: 2026年6月16日; 发布日期: 2026年6月25日

## 摘要

目的: 针对全息实景地理环境中特色建筑轮廓不突出、群体边界不清和视觉重点不明确等问题, 提出面向建筑类型与场景特征的增强显示方法。方法: 将特色建筑划分为单体和群体两类, 结合视觉认知、格式塔心理学和地图学综合理论, 构建单体轮廓强化、群体边界强化和场景层次引导策略, 并引入视点距离、目标屏幕占比和背景复杂度等参数进行控制。结果: 典型场景分析和用户实验表明, 增强显示可缩短任务完成时间、提高识别准确率, 并改善清晰度和视觉聚焦评价。结论: 该方法可在保持场景真实感的基础上提升特色建筑辨识度和重点表达效果。

## 关键词

全息实景地理环境, 特色建筑, 增强显示, 视觉表达, 场景认知

# Research on Enhanced Display Methods for Characteristic Buildings in Holographic Real-Scene Geographic Environments

Jiaqi Huang

School of Earth Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: May 6, 2026; accepted: June 16, 2026; published: June 25, 2026

## Abstract

**Objective:** To address unclear outlines, indistinct group boundaries, and weak visual focus of characteristic buildings in holographic real-scene geographic environments, this study proposes an enhanced display method oriented to building types and scene characteristics. **Methods:** Characteristic buildings are classified into individual buildings and building groups. Based on visual cognition,

**Gestalt psychology, and cartographic generalization, strategies for individual outline enhancement, group boundary enhancement, and scene hierarchy guidance are constructed, and parameters such as viewpoint distance, target screen proportion, and background complexity are introduced for control. Results: Typical scene analysis and user experiments show that enhanced display can shorten task completion time, improve recognition accuracy, and improve the evaluations of clarity and visual focus. Conclusion: The method can improve the recognizability and key expression effect of characteristic buildings while maintaining scene realism.**

## Keywords

**Holographic Real-Scene Geographic Environment, Characteristic Buildings, Enhanced Display, Visual Expression, Scene Cognition**

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

全息实景地理环境能够以较高真实度表达建筑及其周边环境的空间形态与关系，在城市治理、文化展示和空间认知等领域具有较强应用价值[1]-[5]。然而，真实表达并不意味着重点信息能够被高效识别[6]-[10]。在复杂场景中，特色建筑常受背景纹理、建筑遮挡和视觉层次混杂等因素影响，出现目标边界不易识别、群体范围不易判读和视觉中心不明确等问题，进而削弱场景重点表达效果[11]-[14]。

现有研究主要集中在三维地理场景构建、重点目标可视化表达和局部增强显示等方面，为复杂场景中的目标突出提供了基础思路[1][3][6][12][15]。然而，面向全息实景地理环境中特色建筑这一特定对象的研究仍相对不足，尤其缺乏围绕建筑类型差异、表达问题和增强策略建立的系统化方法框架[11][14][16][17]。

同时，特色建筑的表达效果不仅受建筑本体特征影响，也与其所处聚落背景和空间嵌入关系密切相关[18]-[20]。这意味着，复杂场景中的特色建筑表达不能仅依赖真实场景本身，还需要结合对象类型、空间背景和具体任务对增强方式进行差异化组织。

基于此，本文以全息实景地理环境中的特色建筑为研究对象，从建筑形态特征、空间组织关系和场景表达需求出发，构建面向不同对象的增强显示方法体系[7][8][11][16]。文章重点围绕特色建筑分类、表达问题识别、增强方法设计及典型场景分析展开。

本文所称“全息实景地理环境”，并非全息投影、虚拟现实硬件或沉浸式交互系统，而是指以实景三维模型、倾斜摄影模型、建筑三维模型及纹理信息为基础，表达建筑形态、空间位置、表面纹理及周边环境关系的真实感三维地理场景。本文研究范围限定于三维场景可视化与重点对象增强显示。

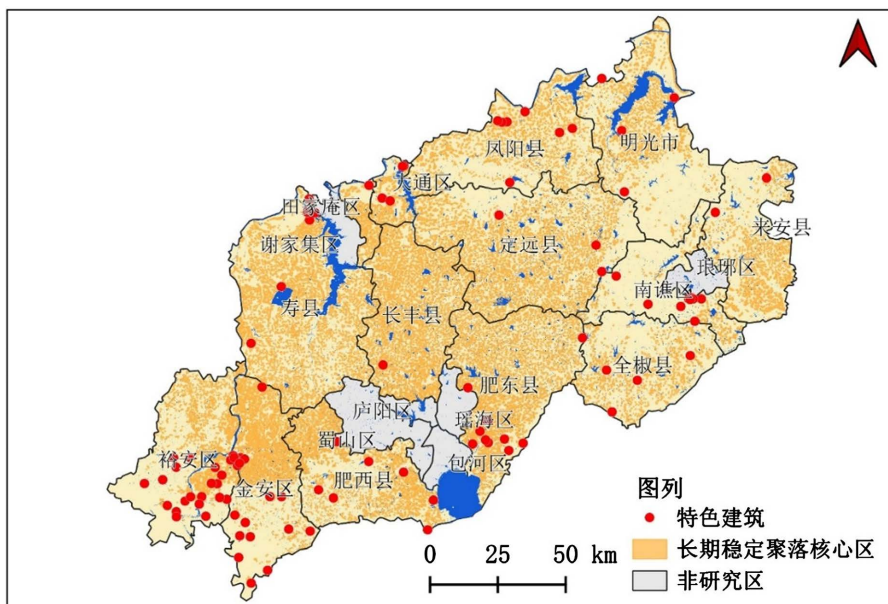
## 2. 研究对象与需求分析

本文研究对象为全息实景地理环境中的特色建筑，主要指具有历史文化、景观标识、功能属性或空间意象价值的建筑对象。依据识别单元和空间组织方式，可分为单体建筑和群体建筑两类。

不同类型特色建筑的表达问题存在差异：单体建筑主要表现为轮廓边界受背景干扰，群体建筑主要表现为整体范围和组织关系不清，复杂背景中的特色建筑则易因视觉竞争较强而难以形成视觉中心。相应地，本文将增强需求归纳为单体轮廓强化、群体边界强化和场景层次引导三类。

空间背景是增强方式选择的重要依据。研究区多期聚落分布结果表明，聚落空间结构呈现稳定延续与边缘扩展并存特征，特色建筑多分布于长期稳定聚落核心区内部或边界邻近区域。不同空间背景下，

建筑对象在结构完整性、背景复杂度和环境依附性方面存在差异，需采用差异化增强方式。特色建筑与长期稳定聚落核心区的空间叠加关系见图 1。



注：审图号为 GS(2024)0650 (<https://cloudcenter.tianditu.gov.cn/administrativeDivision>)；特色建筑数据来源于 CMAB 数据集；长期稳定聚落核心区由 1995~2024 年多期 Landsat 聚落分布结果叠加识别，并结合 CLCD、LUCC 数据辅助校核。图件由作者整理绘制。

**Figure 1.** Spatial overlay distribution of characteristic buildings and long-term stable settlement core areas

**图 1.** 特色建筑与长期稳定聚落核心区空间叠加分布图

为明确不同类型特色建筑的表达问题及增强需求，表 1 对相关内容进行归纳。

**Table 1.** Correspondence among characteristic building types, main expression problems and enhancement needs

**表 1.** 特色建筑类型、主要表达问题与增强需求对应关系

| 特色建筑类型     | 主要特征                | 主要表达问题          | 对应增强需求 |
|------------|---------------------|-----------------|--------|
| 单体特色建筑     | 形态明确，轮廓或立面特征突出      | 边界受背景干扰，目标识别不直接 | 单体轮廓强化 |
| 群体特色建筑     | 多单体构成整体风貌，强调范围和组织关系 | 整体边界不清，内部关系不易判读 | 群体边界强化 |
| 复杂背景中的特色建筑 | 周边纹理丰富、要素密集，视觉竞争强   | 目标不突出，视觉中心不明确   | 场景层次引导 |

### 3. 增强显示方法

#### 3.1. 理论基础与设计原则

特色建筑增强显示涉及复杂三维场景中的目标搜索、空间组织和重点识别。本文从视觉认知、格式塔心理学和地图学综合三个方面构建方法依据。从视觉认知看，目标识别受颜色、亮度、边界、形状和空间位置等视觉变量影响[6] [9] [10]。当目标建筑与背景要素相近时，识别难度增加。单体轮廓强化通过增强边界差异，提高图 - 底分离程度。从格式塔心理学看，空间接近、形态连续或共同边界包围的对象更易被感知为整体[9]。群体边界强化通过突出外围边界，将分散建筑组织为整体对象，符合接近性、

闭合性和整体优先原则。从地图学综合看，复杂场景表达应根据表达目的对重点对象和背景信息进行选择、强调和层次组织[7][8]。场景层次引导通过降低背景视觉竞争，使目标建筑形成更清晰的视觉中心。

基于上述认识，本文增强显示遵循目标突出与场景真实兼顾、对象类型差异化处理、增强强度适度控制三项原则。相关理论基础与增强策略的对应关系见表2。

**Table 2.** Theoretical basis and corresponding enhancement strategies

**表 2.** 理论基础与增强策略对应关系

| 理论基础    | 主要观点                 | 对应表达问题           | 对应增强策略      |
|---------|----------------------|------------------|-------------|
| 视觉认知理论  | 边界、颜色、亮度等视觉变量影响目标识别  | 单体边界受背景干扰，目标搜索困难 | 单体轮廓强化      |
| 格式塔心理学  | 接近、闭合和整体优先原则有助于整体感知  | 建筑群范围不清，整体结构难判读  | 群体边界强化      |
| 地图学综合理论 | 按表达目的进行选择、强调、弱化和层次组织 | 背景视觉竞争强，重点不突出    | 场景层次引导      |
| 场景认知理论  | 场景识读依赖视觉中心和空间阅读路径    | 视觉中心不明确，认知路径不清   | 场景层次引导与组合增强 |

### 3.2. 单体轮廓强化

单体轮廓强化面向个体形态明确但边界易受背景干扰的特色建筑。本文采用对象空间边缘增强方法，以目标建筑为处理单元，避免背景纹理、阴影和周边地物边缘被同步强化，并保持建筑原有形态和空间位置。其流程包括：确定目标建筑对象，提取外轮廓和主要转折边界，依据观察视点判断可见边缘，并进行描边增强。轮廓线宽度和透明度根据视点距离、目标屏幕占比和背景复杂度动态调整。

轮廓线宽度是影响单体强化效果的关键参数。若线宽过小，远距离观察时目标仍不易识别；若线宽过大，则可能遮挡建筑立面纹理并破坏场景真实感。因此，本文将轮廓线宽度与视点距离、目标屏幕占比和背景纹理复杂度相联系，其控制关系可表示为：

$$W = W_{\min} + k_1 \cdot D + k_2 \cdot C + k_3 \cdot S \quad (1)$$

式中， $W$  为轮廓线宽度， $W_{\min}$  为最小轮廓线宽度， $D$  为归一化视点距离， $C$  为背景纹理复杂度， $S$  为目标建筑屏幕占比， $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  为经验控制系数。该关系表示：视点距离越远、背景纹理越复杂，轮廓线宽度应适当增大；目标建筑在屏幕中占比越高，轮廓线宽度应适当减小。

结合本文典型场景，轮廓线宽度宜控制在 2~5 px 范围内。当目标建筑位于聚落边缘区、周边背景复杂且屏幕占比较小时，取较大值；当目标建筑位于场景中心、轮廓本身较清晰或屏幕占比较大时，取较小值。轮廓透明度宜控制在 0.45~0.70 范围内，以保证目标突出性的同时避免过强描边造成视觉突兀。

### 3.3. 群体边界强化

群体边界强化面向由多个建筑单体构成的特色建筑群，重点表达整体范围、空间组织关系和院落边界，而非单体细节。因此，该方法突出外围范围和整体结构，避免对内部建筑逐一高强度描边。其流程包括：依据建筑间空间邻近、功能联系和围合关系确定建筑群范围；对群体内建筑进行空间聚合并提取外围包络边界；采用半透明边界线或弱填充突出整体范围。对于内部结构复杂的建筑群，可适度增加内部引导线，但显著程度应低于外围边界。

群体边界强化的关键参数包括边界线宽度、边界透明度和弱填充强度。其中，边界透明度主要受背景纹理复杂度和建筑群聚合程度影响，可表示为：

$$T = T_{\min} + a \cdot C + b \cdot P \quad (2)$$

式中,  $T$  为群体边界透明度,  $T_{\min}$  为最小透明度,  $C$  为背景纹理复杂度,  $P$  为建筑群空间聚合度,  $a$ 、 $b$  为控制系数。背景纹理越复杂、建筑群越分散, 边界透明度应适当提高; 当建筑群整体范围本身较清晰时, 应降低透明度, 以避免对场景造成过度干扰。

结合本文研究场景, 群体外围边界线宽宜控制在 3~6 px, 透明度宜控制在 0.30~0.60。对于长期稳定聚落核心区内的建筑群, 边界强化重点应放在群体外围范围; 对于核心区边缘或扩展过渡区域的建筑群, 则需结合单体轮廓强化辅助表达, 以提高局部目标的可识别性。

### 3.4. 场景层次引导

场景层次引导用于解决复杂背景中目标建筑视觉中心不明确的问题。该方法不改变目标几何形态, 而是通过调节目标与背景的视觉层次, 降低背景干扰, 使特色建筑优先被感知。其流程包括: 依据目标建筑或建筑群边界确定目标区域并设置缓冲区; 保持目标区域原有色彩、亮度和纹理; 对背景区域适度去饱和、压低亮度或降低对比度, 以减弱视觉竞争。

背景弱化强度主要通过饱和度降低系数控制。其关系可表示为:

$$S_b = S_0 \cdot (1 - \lambda) \quad (3)$$

其中:  $S_b$  为背景区域调整后饱和度、 $S_0$  为原始饱和度、 $\lambda$  为背景弱化系数。为了体现增强强度与场景参数之间的关系,  $\lambda$  可进一步表示为:

$$\lambda = \lambda_{\min} + m \cdot C - n \cdot S \quad (4)$$

式中,  $\lambda_{\min}$  为最小背景弱化系数,  $C$  为背景纹理复杂度,  $S$  为目标屏幕占比,  $m$ 、 $n$  为控制系数。该关系表示: 背景纹理越复杂, 背景弱化程度应适当提高; 目标建筑屏幕占比越大, 背景弱化程度可适当降低。

结合本文典型场景, 背景弱化系数  $\lambda$  宜控制在 0.15~0.35 范围内。当目标建筑与背景色彩相近、周边地物纹理复杂或视觉竞争较强时, 可取较大值; 当背景环境对理解建筑空间语境具有重要作用时, 应取较小值。该方法应作为单体轮廓强化和群体边界强化的辅助方式, 而不宜单独作为主要增强手段。

### 3.5. 方法选择与控制规则

三类增强方法应依据识别任务、目标类型和背景复杂度进行选择, 必要时可组合使用, 但需遵循适度强化原则。其适用对象与控制规则见表 3。

**Table 3.** Applicable objects and control rules of the three enhancement methods

**表 3.** 三类增强方法的适用对象与控制规则

| 增强方法   | 适用对象                | 主要作用                  | 控制重点                |
|--------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| 单体轮廓强化 | 个体特征明确、边界受背景干扰的单体建筑 | 强化外轮廓和关键边界, 提高目标辨识度   | 控制线宽与透明度, 避免遮盖主体纹理  |
| 群体边界强化 | 分布集中、整体风貌明显的建筑群     | 突出外围边界和整体轮廓, 提高群体可判读性 | 强调整体范围, 避免内部单体过度强化  |
| 场景层次引导 | 背景复杂、视觉中心不明确的场景     | 协调目标与背景关系, 提升视觉聚焦效果   | 保留必要背景信息, 避免削弱场景真实感 |

为避免增强强度完全依赖主观经验, 本文将视点距离、目标屏幕占比和背景纹理复杂度作为参数控制依据。其中, 视点距离反映观察者与目标之间的空间关系, 目标屏幕占比反映目标在当前视图中的视觉尺度, 背景纹理复杂度反映目标周边环境对视觉识别的干扰程度。上述参数不用于建立复杂的自动优

化模型，而是作为增强显示过程中的经验化控制依据，以保证方法具有可解释性和实际操作性。增强方法关键参数及设置依据见表 4。

**Table 4.** Key parameter and setting basis of enhancement methods  
**表 4.** 增强方法关键参数及设置依据

| 增强方法   | 关键参数             | 主要影响因素                        | 建议取值      | 设置依据                        |
|--------|------------------|-------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 单体轮廓强化 | 轮廓线宽度 $W$        | 视点距离 $D$ 、屏幕占比 $S$ 、背景复杂度 $C$ | 2~5 px    | 距离越远、背景越复杂，线宽越大；屏幕占比越大，线宽越小 |
| 单体轮廓强化 | 轮廓透明度            | 目标边界清晰度、背景干扰程度                | 0.45~0.70 | 背景干扰强时提高透明度，边界清晰时降低透明度      |
| 群体边界强化 | 边界线宽度            | 群体规模、聚合程度                     | 3~6 px    | 群体范围越大，边界线可适当加宽             |
| 群体边界强化 | 边界透明度 $T$        | 背景复杂度 $C$ 、群体聚合度 $P$          | 0.30~0.60 | 背景越复杂、群体越分散，透明度越高           |
| 场景层次引导 | 背景弱化系数 $\lambda$ | 背景复杂度 $C$ 、目标屏幕占比 $S$         | 0.15~0.35 | 背景越复杂，弱化程度越高；目标占比越大，弱化程度越低  |

表中参数范围依据典型场景增强效果和视觉判读需求确定，重点强调增强强度与场景条件之间的可解释关系，而非复杂自动优化计算。

## 4. 典型场景应用与分析

### 4.1. 典型场景选取

为验证方法适用性，本文选取单体特色建筑和群体特色建筑两类典型场景开展分析。前者用于检验轮廓强化对建筑边界识别的改善作用，后者用于分析边界强化对建筑群整体范围和组织关系表达的提升效果。

### 4.2. 增强结果对比

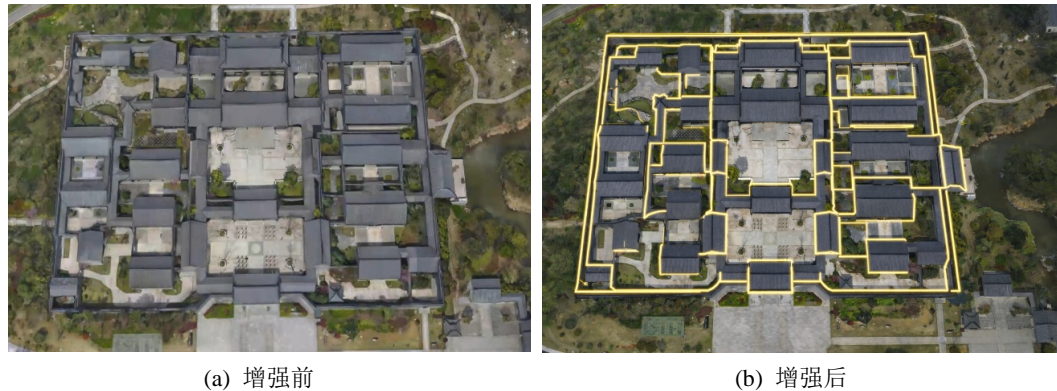
图 2 和图 3 所用原始场景均来源于作者于 2025 年 11 月利用建模软件自行构建的全息实景三维场景数据，增强结果分别由单体轮廓强化和群体边界强化方法处理生成。

在单体特色建筑场景中，原始场景能够呈现建筑及周边环境，但目标边界易受背景干扰。采用轮廓强化后，目标建筑与背景的分隔程度提高，建筑边界更易判读，目标对象可更快进入视野。图 2 展示了增强前后的对比结果。



**Figure 2.** Comparison of an individual characteristic building before and after outline enhancement  
**图 2.** 单体特色建筑轮廓强化前后对比图

在群体特色建筑场景中，原始场景能够展示内部建筑构成，但整体范围和组织关系不够明确。采用群体边界强化后，建筑群外围范围更易判读，整体结构表达更加清晰。图 3 展示了增强前后的对比结果。



**Figure 3.** Comparison of characteristic building groups before and after boundary enhancement  
**图 3.** 群体特色建筑边界强化前后对比图

### 4.3. 方法适用性分析

增强方式应依据空间背景和对象特征差异化选择。长期稳定聚落核心区中的建筑群，识别重点在于整体结构和空间组织关系，宜优先采用群体边界强化；核心区边缘或扩展过渡区中的建筑对象，目标边界更易受背景干扰，宜采用单体轮廓强化；复杂背景中的重点对象，可辅以场景层次引导。

单体轮廓强化主要服务于图-底分离，群体边界强化主要服务于整体视觉组织，场景层次引导主要服务于视觉聚焦。增强效果取决于方法与对象条件、场景条件和识别任务的匹配程度。为检验上述判断，本文引入用户认知实验进行量化验证。

### 4.4. 用户实验与量化评价

#### 4.4.1. 实验设计

为验证方法有效性，本文设计小样本用户认知评价实验，招募 8 名具有地理信息、遥感或城乡规划背景的研究生作为被试。实验材料包括单体特色建筑和群体特色建筑两类场景，并设置原始显示与增强显示两种状态。目标搜索任务基于单体特色建筑场景，范围判断任务基于群体特色建筑场景，视觉聚焦任务基于复杂背景下的单体或群体建筑场景。

实验任务包括目标搜索、范围判断和视觉聚焦三类，分别用于检验单体轮廓强化、群体边界强化和场景层次引导效果。目标搜索以被试所指位置是否与目标建筑一致为依据；范围判断以结果是否与预设群体边界基本一致为依据；视觉聚焦以被试判断的视觉中心是否与设定目标一致为依据。实验记录任务完成时间和判断结果，并计算平均完成时间与识别准确率。该实验用于初步评价方法的认知改善效果。

#### 4.4.2. 评价指标

本文采用客观指标与主观指标评价增强效果。客观指标包括任务完成时间和识别准确率，分别反映识别效率和判断正确程度；主观指标采用五级 Likert 量表，包括清晰度、视觉聚焦效果、真实感、美观协调性和整体满意度，分值越高表示评价越好。表 5 和表 6 数据来源于 2026 年 3 月组织的小样本用户认知评价实验。

由表 5 可知, 增强显示后三类认知任务的平均完成时间均缩短, 识别准确率均提高。其中, 单体轮廓强化对目标搜索改善较明显, 群体边界强化对范围判断改善较明显, 场景层次引导有助于提升视觉聚焦效果。

**Table 5.** Experimental results of cognitive tasks under different display conditions

**表 5.** 不同显示条件下认知任务实验结果

| 任务类型 | 显示条件   | 平均完成时间/s | 准确率/% |
|------|--------|----------|-------|
| 目标搜索 | 原始场景   | 12.4     | 72    |
| 目标搜索 | 单体轮廓强化 | 8.3      | 89    |
| 范围判断 | 原始场景   | 13.1     | 70    |
| 范围判断 | 群体边界强化 | 9.1      | 86    |
| 视觉聚焦 | 原始场景   | 10.8     | 75    |
| 视觉聚焦 | 场景层次引导 | 8.6      | 88    |

**Table 6.** Subjective evaluation results of users

**表 6.** 用户主观评价结果

| 评价指标   | 原始场景 | 增强场景 |
|--------|------|------|
| 清晰度    | 2.8  | 4.4  |
| 视觉聚焦效果 | 3.0  | 4.5  |
| 真实感    | 4.2  | 4.0  |
| 美观协调性  | 3.4  | 4.1  |
| 整体满意度  | 3.2  | 4.3  |

由表 6 可知, 增强场景在清晰度、视觉聚焦效果、美观协调性和整体满意度方面均高于原始场景; 真实感评分略低但差异较小, 说明适度增强未明显削弱场景真实感。综合表 5 和表 6, 所提方法可从客观任务表现和主观感受两方面改善特色建筑重点表达效果。

## 5. 讨论

### 5.1. 方法局限性

本文方法仍存在一定局限。第一, 增强参数主要依据目标尺度、背景复杂度和典型场景判读需求进行经验化设置, 尚未形成自适应优化机制。第二, 当目标建筑被严重遮挡, 或与周边建筑在色彩、材质和形态上高度相似时, 单一增强方式仍难以完全解决识别问题。第三, 增强显示可能带来局部负面影响, 如轮廓线遮挡立面纹理、群体边界削弱内部层次、背景弱化降低环境信息可读性。因此, 增强显示应在目标辨识度、场景真实感和环境语境完整性之间保持平衡。

### 5.2. 方法间权衡

三类增强方法对应不同认知任务和表达目标。单体轮廓强化适用于目标搜索和边界识别, 群体边界强化适用于范围判断和整体结构识别, 场景层次引导适用于复杂背景下的视觉聚焦。实际应用中, 三类方法可单独使用或组合应用, 但并非增强强度越高越好。多种方式叠加强化可能增加视觉负担, 甚至削弱场景真实感。因此, 方法选择应以表达任务为核心, 并结合目标类型和背景复杂度进行控制。

### 5.3. 后续研究方向

后续研究可从三方面展开：一是构建结合视点距离、目标尺度和背景复杂度的自适应参数控制模型；二是引入眼动实验和用户行为数据，验证增强方式与视觉认知规律的匹配关系；三是拓展多类型重点目标的协同增强表达，提高复杂三维场景的整体认知效率。

## 6. 结论

针对全息实景地理环境中特色建筑轮廓不突出、群体边界不清和视觉重点不明确等问题，本文构建了面向不同对象的增强显示方法体系，并结合典型场景和用户认知实验进行验证。主要结论如下：

(1) 全息实景地理环境能够真实再现场景形态和空间关系，但复杂背景会削弱特色建筑的高效识别，需开展定向增强显示。

(2) 特色建筑增强需求具有对象差异性，可归纳为单体轮廓强化、群体边界强化和场景层次引导三类，分别对应边界识别、范围判读和视觉聚焦任务。

(3) 本文采用对象空间边缘增强、群体外围边界提取和背景视觉弱化等方法，并引入视点距离、目标屏幕占比、背景复杂度和建筑群聚合度等参数，提高了方法的可解释性和可操作性。

(4) 典型场景分析和用户认知实验表明，增强显示能够缩短任务完成时间、提高识别准确率，并改善清晰度、视觉聚焦效果和整体满意度。

(5) 本文方法仍存在参数经验性较强、复杂遮挡场景适应性不足等问题，后续可结合眼动实验、用户行为数据和自适应参数模型进一步完善。

## 参考文献

- [1] Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. and Çöltekin, A. (2015) Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **4**, 2842-2889. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
- [2] 李清泉, 邵成立, 万剑华, 等. 优视摄影测量与泛在实景三维数据采集: 以实景三维青岛为例[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2022, 47(10): 1587-1597.
- [3] 陈军, 刘建军, 田海波. 实景三维中国建设的基本定位与技术路径[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2022, 47(10): 1568-1575.
- [4] 陈军, 田海波, 高崑, 等. 实景三维中国的总体架构与主体技术[J]. *测绘学报*, 2025, 54(4): 636-649.
- [5] 朱庆, 张利国, 丁雨淋, 等. 从实景三维建模到数字孪生建模[J]. *测绘学报*, 2022, 51(6): 1040-1049.
- [6] MacEachren, A.M. and Kraak, M.J. (2001) Research Challenges in Geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, **28**, 3-12. <https://doi.org/10.1559/152304001782173970>
- [7] 王家耀, 陈毓芬. 理论地图学[M]. 北京: 解放军出版社, 2000.
- [8] 祝国瑞. 地图学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [9] Ware, C. (2020) *Information Visualization: Perception for Design*. 4th Edition, Morgan Kaufmann.
- [10] 刘浩, 薛梅. 虚拟地理环境下的地理空间认知初步探索[J]. *遥感学报*, 2021, 25(10): 2027-2039.
- [11] Lynch, K. (1960) *The Image of the City*. MIT Press.
- [12] 林浩嘉, 郭仁忠, 贺彪, 等. 视觉感知导向的实景三维建筑场景 LOD 自适应可视化[J]. *测绘学报*, 2025, 54(6): 1054-1070.
- [13] Wang, T., Chen, Y., Wei, Z., Chen, J., Fang, J., Dong, Z., et al. (2025) Images of Architectural Landmarks Integrated into Spatial Vision Based on Urban Image Theory: A Case Study on the Wuhan Design Biennale Exhibition Space. *Buildings*, **15**, Article 530. <https://doi.org/10.3390/buildings15040530>
- [14] 陈波, 毕欣雨. 乡村建筑文化遗产空间价值感知与表达——以西递、宏村为例[J]. *理论月刊*, 2025, 47(6): 85-95.
- [15] 朱庆. 三维 GIS 及其在智慧城市中的应用[J]. *地球信息科学学报*, 2014, 16(2): 151-157.
- [16] 沈福煦. 建筑学概论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

- 
- [17] Norberg-Schulz, C. (1980) *Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture*. Rizzoli.
- [18] Relph, E.C. (1976) *Place and Placelessness*. Pion.
- [19] 石亚灵, 王成, 方辰昊, 等. “社会-空间”互构视角的传统聚落整体性保护理论框架及实证研究[J]. *城市规划学刊*, 2023(4): 50-60.
- [20] Li, Y., Westlund, H. and Liu, Y. (2019) Why Some Rural Areas Decline While Some Others Not: An Overview of Rural Evolution in the World. *Journal of Rural Studies*, **68**, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.03.003>