

玻璃幕墙缺陷智能检测系统

软件需求规约

版本: V1.2

日期: 2025-12-15

作者: 陈柏熙、王雷、袁艺铭、黄景胤

SRS 修订记录表

名称	版本号	时间	撰写人	评审人
玻璃幕墙缺陷 智能检测系统 软件需求规约	V1.0	2025-12-10	陈柏熙、王雷、 袁艺铭、黄景胤	
玻璃幕墙缺陷 智能检测系统 软件需求规约	V1.1	2025-12-13	陈柏熙、王雷、 袁艺铭、黄景胤	
玻璃幕墙缺陷 智能检测系统 软件需求规约	V1.2	2025-12-15	陈柏熙、王雷、 袁艺铭、黄景胤	



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

目录

1. 引言	6
1.1 目的	6
1.2 范围	7
1.3 定义、缩略语及缩写	7
1.4 文档概览	7
2. 需求概述	8
2.1 产品目标	8
2.2 应用领域现状分析	8
2.2.1 玻璃裂纹（自爆）检测现状	8
2.2.2 玻璃幕墙平整度检测现状	9
2.2.3 域分析方法说明	9
2.2.4 域分析小结	11
3. 需求建模	11
3.1 基于场景的建模	12
3.1.1 参与者	12
3.1.2 用例表	13
3.1.2 总用例图	13
3.3.3 用例规约	14
用例 UC1：裂纹检测	14

用例 UC2: 平整度检测	15
用例 UC3: 最终检测报告生成	16
用例 UC4: 本功能模块小前端交互	18
3.2 基于数据的建模	20
3.2.1 数据建模方法说明	20
3.2.2 数据流图建模	20
(1) 系统上下文级数据流图	20
(2) 一级数据流图	21
3.2.3 数据字典	22
(1) 数据实体与数据流定义表	23
(2) 核心数据对象定义	23
3.2.4 小结	24
3.3 基于行为的建模	25
3.3.1 行为建模步骤	25
3.3.2 行为建模概述	26
3.3.3 事件识别	26
3.3.3.1 裂纹检测相关事件识别	27
3.3.3.2 不平整度检测相关事件识别	28
3.3.3.3 最终检测报告生成相关事件识别	30
3.3.4 UML 活动图	32
3.4 数据集来源说明	35
4. 需求规约	36
4.1 功能需求	36
FR-1 裂纹检测功能	36

FR-1.1 图像上传	36
FR-1.2 图像接收与验证	36
FR-1.3 玻璃区域提取	37
FR-1.4 裂纹识别	37
FR-1.5 裂纹结果判断	37
FR-1.6 裂纹检测结果存储	37
FR-2 不平整度检测	37
FR-2.1 检测设备准备	37
FR-2.2 结构光投射	37
FR-2.3 双目同步拍摄	37
FR-2.4 不平整检测图像上传	37
FR-2.5 差分图生成	37
FR-2.6 角点检测（亚像素级）	38
FR-2.7 双目立体匹配	38
FR-2.8 点云生成与预处理	38
FR-2.9 平面拟合	38
FR-2.10 基于平面拟合的不平整分析	38
FR-2.10.1 定性分析	38
FR-2.10.2 定量分析	38
FR-2.11 不平整检测结果存储	38
FR-3 检测结果汇总与报告生成	39
FR-3.1 结果读取	39
FR-3.2 自动报告生成	39
FR-3.3 数据归档	39

4.2 非功能需求	39
4.3 约束条件	40
硬件约束	40
环境约束	40
技术约束	40
行业/规范约束	40
5. 遵从标准	40
6. 附录	41
6.1 用户故事	41
6.1.1 用户故事总览表	41
6.1.2 用户故事描述	42
US-1 裂纹检测	42
US-2 不平整度检测	43
US-3 报告生成和数据管理	44
6.2 参考文献	44
6.2 三级目录: 表目录和图目录	45

1.引言

1.1 目的

本文档为《玻璃幕墙缺陷智能检测系统》的软件需求规约 (Software Requirements Specification, SRS) , 用于系统性地描述本系统在业务层面和功能层面的需求。

本规约旨在为后续的软件设计、实现、测试及验收提供统一、明确的需求依据，并作为需求评审和需求变更管理的重要参考文档。

1.2 范围

本系统面向玻璃幕墙工程检测与运维场景，适用于城市高层建筑及商业综合体等应用环境。系统的主要功能范围包括：

1. 玻璃幕墙自爆裂纹的自动检测与结果可视化；
2. 玻璃幕墙平整度的不平整定性分析；
3. 玻璃幕墙平整度的定量测量与工程指标输出；
4. 检测结果的汇总、报告生成与数据归档管理。

系统主要用于支持玻璃幕墙的日常维护、专业检测以及工程验收等业务活动。

1.3 定义、缩略语及缩写

- **幕墙 (Curtain Wall)**: 建筑外围护墙体，不承重，常采用玻璃面板。
- **点云 (Point Cloud)**: 由三维扫描获得的离散空间点集合，用于三维重建。
- **结构光 (Structured Light)**: 投影特定图案用于测量三维形状的光学方法。
- **RMS**: 均方根偏差 (Root Mean Square deviation)。

1.4 文档概览

本文档后续章节将依次对系统的需求背景与域分析、需求建模方法、功能与非功能需求规约以及相关附录内容进行说明。

2. 需求概述

2.1 产品目标

玻璃幕墙缺陷智能检测系统是一套独立的软件系统，可与建筑管理平台或数据存储系统进行接口集成。

系统以幕墙检测数据为输入，输出包括缺陷检测结果、平整度分析结果以及检测报告等信息，用于支撑工程验收与运维决策。

2.2 应用领域现状分析

2.2.1 玻璃裂纹（自爆）检测现状

玻璃裂纹及自爆缺陷是幕墙运维中的重要安全隐患，尤其在高层建筑和公共建筑中，一旦发生破裂可能造成严重后果。因此，在玻璃安装验收和运行维护阶段，对裂纹缺陷进行有效检测具有现实需求。

传统裂纹检测主要依赖人工巡检和目视观察，在检测效率、稳定性和漏检率方面存在明显局限。随着图像处理技术的发展，基于图像分析的裂纹检测方法逐渐成为主流方向。早期方法多采用边缘检测、阈值分割等传统图像处理手段，对光照变化和复杂背景较为敏感。

近年来，基于机器学习和深度学习的裂纹检测方法在复杂环境下表现出更强的鲁棒性，能够自动识别裂纹位置并输出缺陷标注结果。在工程应用中，裂纹检测不仅需要判断是否存在缺陷，还需要输出裂纹位置、范围等信息，以支持后续评估、记录和报告生成。

因此，在系统设计层面，有必要将裂纹检测算法与图像上传、结果存储和报告生成等流程进行统一规划，形成完整的功能闭环。

2.2.2 玻璃幕墙平整度检测现状

玻璃幕墙广泛应用于现代建筑，其平整度直接影响建筑立面的整体观感、结构安全性以及后期运维质量。在工程验收和运行维护阶段，平整度偏差过大可能导致玻璃受力异常、密封失效等问题，因此对玻璃幕墙平整度进行客观、量化的检测具有重要工程意义。

传统的平整度检测方式主要依赖人工目测、靠尺或局部测量工具。这类方法操作简单，但检测结果受人为因素影响较大，难以获得连续的整体偏差分布信息，在大面积幕墙场景下效率和一致性均存在不足。

随着计算机视觉和三维重建技术的发展，基于视觉的非接触式检测方法逐渐被引入玻璃平整度检测领域。其中，结构光与双目视觉相结合的方案能够在透明或弱纹理玻璃表面增强特征信息，通过立体匹配与三维点云重建，获取玻璃表面的空间形态。在此基础上，通过平面拟合和偏差计算，可实现对玻璃平整度的定性分级与定量分析。

尽管相关技术在研究和实验中已得到验证，但在实际工程应用中，仍需要将采集流程、数据处理、结果表达与验收业务流程进行系统化整合，以形成可落地、可复用的检测功能模块。

2.2.3 域分析方法说明

域分析是软件需求工程中的一项基础性活动，其核心目标并非针对某一具体应用系统，而是面向应用系统所属的业务领域，识别、分析并抽象出该领域内可复用的共性需求、概念结构和问题解决模式。通过域分析，可以为后续需求建模提供稳定、可扩展的分析基础，并为功能需求的系统化组织提供支撑。

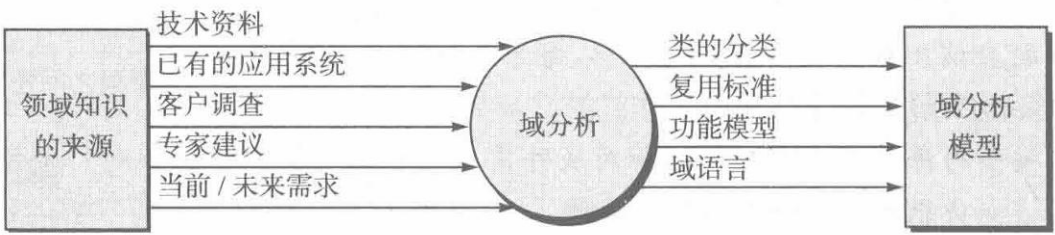


图 2.1 域分析的输入和输出

结合域分析的基本思想以及本系统的应用背景，本系统的需求分析主要基于以下方法开展：

(1) 文献分析法

通过系统查阅玻璃幕墙缺陷检测相关的学术论文、行业技术资料及工程规范，对裂纹检测和平整度检测领域的研究对象、常见问题、主流技术路线和评价指标进行梳理。

该方法有助于从领域层面识别反复出现的检测目标、数据类型和分析任务，为需求建模中“共性功能”的抽象提供依据。

(2) 已有系统与应用实例分析法

通过分析已有的玻璃检测系统、相关图像检测应用以及工程检测流程，识别在不同项目中反复出现的功能结构和业务流程。

该方法重点关注系统在检测流程、结果输出及数据管理方面的共性需求，从而避免将需求限定为单一系统的个性化实现。

(3) 典型业务场景分析法

围绕玻璃幕墙工程验收、日常巡检和缺陷评估等典型应用场景，对系统使用过程进行抽象描述。

该方法用于识别领域内稳定存在的业务活动及其顺序关系，并为后续基于场景的需求建模（如用例和活动图）提供输入。

(4) 数据样本与检测对象分析法

通过分析玻璃裂纹检测和平整度检测过程中涉及的图像数据、双目数据和点云数据，识别领域内稳定存在的数据对象及其基本属性。

该方法为后续基于数据的需求建模和数据关系分析提供支持。

2.2.4 域分析小结

总体而言，玻璃裂纹检测和平整度检测在算法层面已具备一定成熟度，但其工程化应用仍依赖于合理的系统设计与流程整合。本功能模块正是在上述背景下，围绕实际工程检测与验收需求，对相关检测流程进行系统化设计，为后续功能实现和系统集成提供依据。

3. 需求建模

本节需求建模包括：基于场景的建模，基于数据的建模，基于行为的建模以及数据集来源说明。

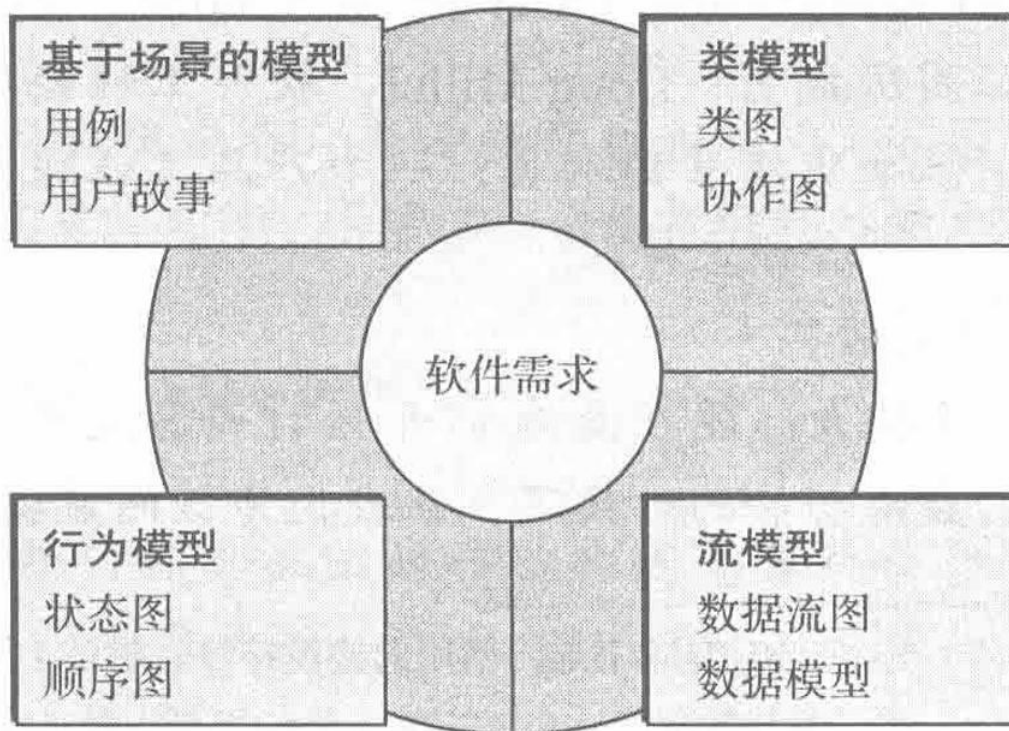


图 3.1 需求模型的元素

3.1 基于场景的建模

为了准确理解用户及其他参与者与系统之间的交互方式，有必要在需求分析阶段引入基于场景的建模方法。该方法通过刻画用户在特定业务场景下的操作流程，帮助需求分析人员更清晰地识别系统应具备的功能与行为，从而构建合理、可验证的需求模型。

3.1.1 参与者

1. 物业维护人员
2. 工程验收人员
3. 技术检测人员/工程师
4. 双目相机/结构光系统

3.1.2 用例表

用例编号	用例名称
UC1	裂纹检测
UC2	平整度检测
UC3	最终检测报告生成
UC4	本功能模块小前端交互

表 3.1 总用例表

3.1.2 总用例图

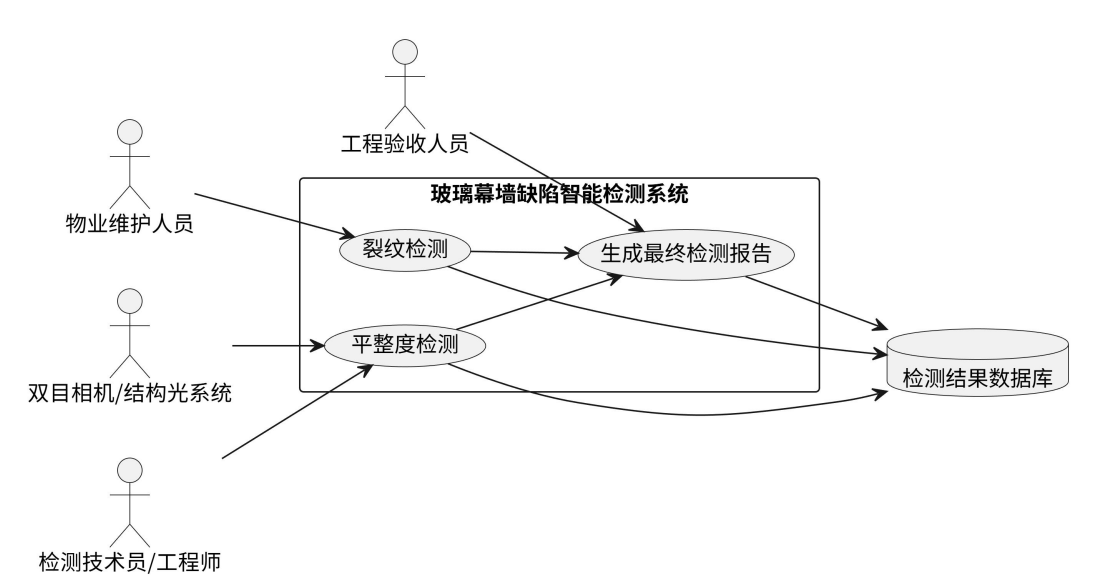


图 3.2 玻璃幕墙缺陷智能检测系统需求建模总用例图

3.3.3 用例规约

用例 UC1：裂纹检测

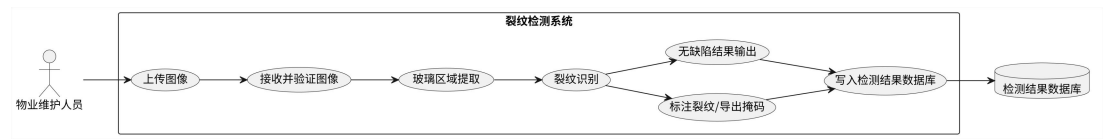


图 3.3 裂纹检测用例图

用例名称：裂纹检测

主要参与者：物业维护人员

目标：上传幕墙玻璃图像，系统自动检测裂纹并输出检测结果

前置条件：系统可访问数据库并已启动裂纹检测服务

触发事件：用户上传待检测的玻璃图像

场景

1. 用户选择上传裂纹检测图像
2. 系统接收并验证图像格式与可读性
3. 系统提取玻璃区域，排除窗框和背景
4. 系统执行裂纹检测（传统算法或深度学习）
5. 根据检测结果分支：
 - (1) 若检测到裂纹 → 系统标注裂纹位置并导出掩码或坐标
 - (2) 若未检测到裂纹 → 系统输出“无缺陷”信息
6. 系统将检测结果写入临时存储或数据库

异常情况

图像上传失败 → 系统记录上传失败并提示用户

图像格式或分辨率不符合要求 → 系统提示用户重新上传

优先级：高

可用性：第一阶段实现

使用频率：每天多次

用户交互方式：Web 前端上传接口

次要参与者：系统管理员（维护数据库）

次要参与者交互方式：通过管理后台维护数据

开放问题：

- 1. 系统是否支持批量图像上传？
- 2. 对于低光照或反射图像，是否需要提示重拍？

用例 UC2：平整度检测

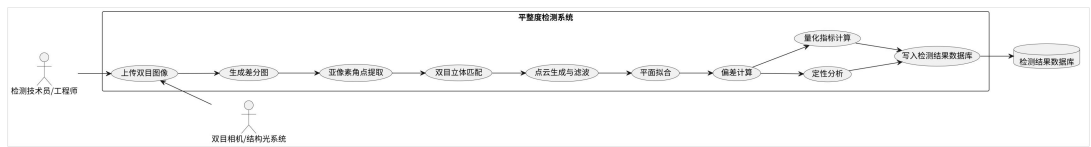


图 3.4 平整度检测用例图

用例名称：平整度检测

主要参与者：检测机构技术员/工程师

目标：通过双目图像和结构光数据分析幕墙平整度并输出定性等级及量化指标

前置条件：双目相机和结构光系统已完成标定，系统可访问数据库

触发事件：用户上传双目图像用于平整度分析

场景

- 3. 用户采集“有光/无光”双目图像并上传
- 4. 系统接收上传的图像并验证成功
- 5. 系统生成差分图（有光减无光）
- 6. 系统提取亚像素级角点
- 7. 若角点提取成功：
 - (1) 系统执行双目立体匹配

- (2) 系统生成点云并进行滤波和噪声剔除
- (3) 系统进行平面拟合，求解参考平面
- (4) 系统计算偏差分布
- (5) 系统进行定性分析（平整/轻微/明显/严重）
- (6) 系统计算量化指标（最大偏差、平均偏差、RMS、热图）
- (7) 系统将检测结果写入数据库

8. 若角点提取失败 → 系统生成错误报告

9. 若上传失败 → 系统记录失败

异常情况

双目图像上传失败 → 系统提示重新上传

角点提取失败 → 系统生成错误报告并提示技术员

优先级：高

可用性：第一阶段实现

使用频率：每天多次

用户交互方式：Web 前端上传接口

次要参与者：系统管理员（维护数据库）

次要参与者交互方式：通过管理后台维护数据

开放问题：

是否支持批量上传多组双目图像？

在强反射或阴影区域，角点提取失败是否需要手动干预？

用例 UC3：最终检测报告生成

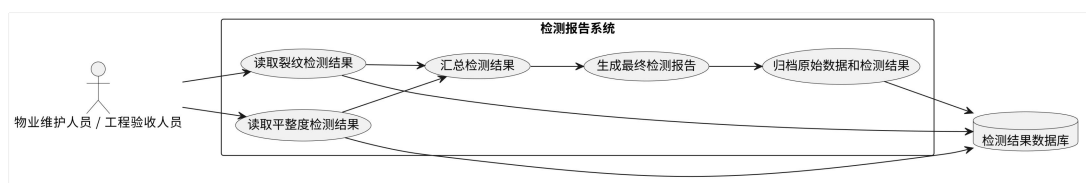


图 3.5 最终报告检测生成用例图

用例名称：最终检测报告生成

主要参与者：物业维护人员、工程验收人员

目标：汇总裂纹检测和不平整度检测结果，生成最终报告并归档

前置条件：裂纹检测和不平整度检测已完成，数据库中有相关结果

触发事件：用户请求生成最终检测报告

场景

1. 系统从数据库读取裂纹检测结果
2. 系统从数据库读取平整度检测结果
3. 系统汇总所有检测结果
4. 系统生成检测报告，包括：
 - (1) 裂纹标注图
 - (2) 点云偏差分布/热图
 - (3) 平整度定性等级
 - (4) 平整度量化指标
5. 系统将原始图像、双目图像、差分图、点云及检测结果归档

异常情况

数据库读取失败 → 系统提示错误并中止生成

检测结果缺失 → 系统提示缺少必要数据

优先级：中

可用性：第二阶段实现

使用频率：每天多次

用户交互方式：Web 前端查看/下载报告

次要参与者：系统管理员（数据管理）

次要参与者交互方式：通过管理后台维护数据

开放问题：

报告归档策略如何保证长期可追溯？

用例 UC4：本功能模块小前端交互

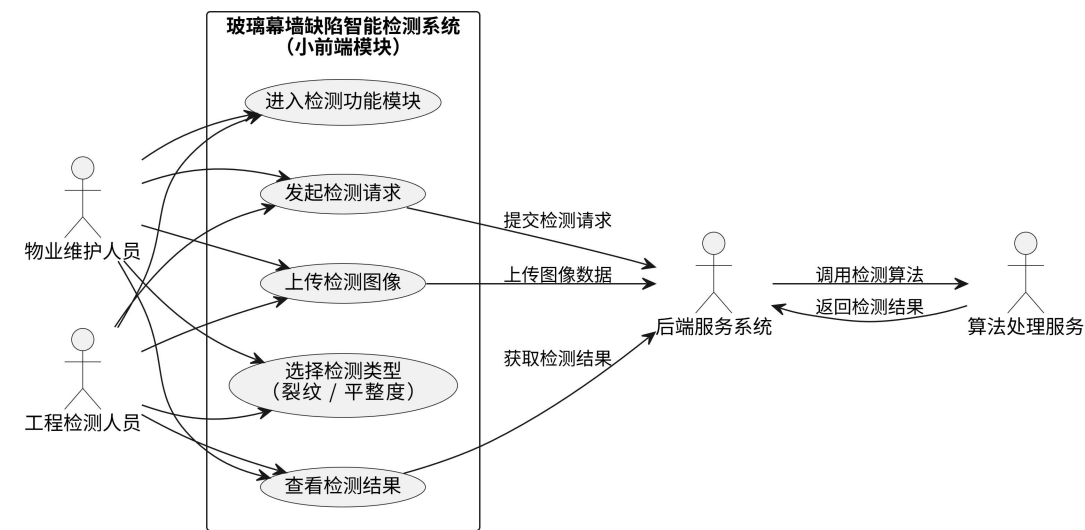


图 3.6 本功能模块小前端交互用例图

用例名称：本功能模块小前端交互

主要参与者：物业管理维护人员、工程验收人员

目标：通过 Web 小前端完成检测任务的配置、图像上传、检测流程触发以及检测结果的查看。

前置条件：系统后端与算法服务已正常运行。

触发事件：用户在 Web 前端中进入玻璃幕墙缺陷检测功能模块。

场景

1. 用户通过浏览器访问系统 Web 前端；
2. 用户进入玻璃幕墙缺陷智能检测功能模块页面；
3. 用户在前端界面中选择检测类型（裂纹检测或平整度检测）；
4. 用户按照界面提示上传对应的检测图像数据；

5. 前端对上传文件的类型与完整性进行基础校验;
6. 前端向后端发送检测请求并显示处理状态;
7. 用户在前端界面中查看检测结果, 包括:
 - (1) 裂纹检测标注结果或“无缺陷”提示;
 - (2) 平整度定性等级与量化指标。

异常情况

1. 图像上传失败
 - (1) 前端提示上传失败原因 (格式错误、文件缺失等) ;
 - (2) 用户可重新上传图像。
2. 检测请求失败
 - (1) 前端提示系统处理异常;
 - (2) 用户可重新发起检测请求或联系管理员。
3. 结果未生成
 - (1) 前端提示检测尚未完成或数据缺失;
 - (2) 用户需等待或重新执行检测流程。

优先级: 高

可用性: 第一阶段实现

使用频率: 每天多次

用户交互方式: Web 前端图形界面 (浏览器访问) 。

次要参与者: 后端服务系统、算法处理服务

次要参与者交互方式

后端服务: 通过 HTTP/HTTPS 接口接收前端请求

算法服务: 通过内部接口返回检测结果

开放问题

小前端是否需要支持批量任务与任务队列展示？

3.2 基于数据的建模

3.2.1 数据建模方法说明

基于数据的数据建模关注系统在运行过程中数据如何被接收、处理、存储和输出，强调从**功能视角（functional perspective）**对系统的数据处理过程进行描述。本系统的数据建模主要采用以下方法：

1. 数据流图（Data Flow Diagram, DFD）

用于描述数据在系统中的端到端处理流程，展示数据如何在外部参与者、处理过程以及数据存储之间流动。

2. 数据字典（Data Dictionary）

对系统中出现的关键数据对象、数据项及其含义进行统一定义，避免概念歧义，并为后续设计与实现提供一致的数据语义基础。

通过数据流图与数据字典的结合，可以在不涉及具体实现细节的前提下，清晰刻画系统的数据处理逻辑。

3.2.2 数据流图建模

（1）系统上下文级数据流图

从系统整体视角看，玻璃幕墙缺陷智能检测系统作为一个独立的数据处理系统，与外部实体之间的数据交换关系如下：

外部实体：

物业维护人员 / 工程验收人员

检测机构技术员

外部数据存储系统

主要数据流:

1. 输入数据:

裂纹检测图像

平整度检测双目图像 (有光 / 无光)

2. 输出数据:

裂纹检测结果

平整度分析结果

最终检测报告

系统上下文级数据流图

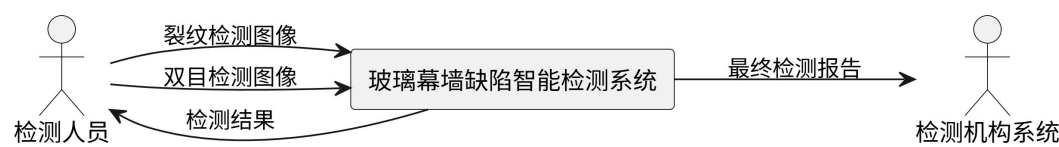


图 3.7 系统上下文级数据流图

(2) 一级数据流图

在一级数据流图中，系统被分解为若干核心数据处理过程，与现有用例和活动图保持一致。

核心处理过程划分:

P1: 裂纹检测处理

接收裂纹检测图像

输出裂纹检测结果

P2: 不平整度检测处理

接收双目结构光图像

输出平整度定性与定量结果

P3: 检测结果汇总与报告生成

读取裂纹与平整度检测结果

输出最终检测报告

数据存储（逻辑层）：

D1: 原始检测数据存储

裂纹检测原始图像

平整度检测双目图像、差分图

D2: 检测结果存储

裂纹检测结果

平整度分析结果

D3: 检测报告存储

最终检测报告

归档信息

一级数据流图

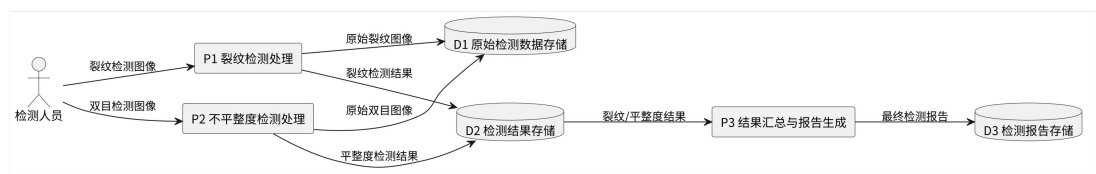


图 3.8 一级数据流图

这种分解方式体现了数据在系统内部的端到端处理过程，同时避免了对具体算法或数据库实现的过早约束。

3.2.3 数据字典

为保证数据建模的一致性和可理解性，本系统建立统一的数据字典，对主要数据对象进行定义。数据字典用于支持名称管理、避免歧义，并作为需求、设计和实

现之间的语义桥梁。

(1) 数据实体与数据流定义表

名称	描述
裂纹检测图像	用于裂纹检测的幕墙玻璃原始图像
双目检测图像	包含左/右相机在有光与无光条件下采集的图像数据
差分图	由有光图像与无光图像计算得到的结构光差分结果
裂纹检测结果	包含裂纹是否存在、位置标注及相关属性的检测结果
平整度检测结果	包含平整度定性等级与量化偏差指标的检测结果
最终检测报告	汇总裂纹检测与平整度检测结果形成的完整报告

表 3.2 数据实体与数据流定义表

(2) 核心数据对象定义

裂纹检测结果

描述：裂纹检测模块输出的数据对象

主要内容：

是否存在裂纹

裂纹位置（掩码或坐标）

检测时间

关联图像标识

平整度检测结果

描述：平整度检测模块输出的数据对象

主要内容：

平整度等级（平整 / 轻微 / 明显 / 严重）

最大偏差

平均偏差

RMS 偏差

偏差分布或热图引用

检测报告

描述：系统最终输出的工程检测报告

主要内容：

裂纹检测结果摘要

平整度分析结果摘要

可视化结果引用

生成时间与归档信息

3.2.4 小结

通过数据流图建模，本系统从功能视角清晰描述了检测数据在系统中的流转路径，展示了从数据输入、处理到输出报告的完整数据处理流程。数据字典则为系统中使用的关键数据对象提供了统一、明确的语义定义。

3.3 基于行为的建模

基于行为的建模旨在描述系统在接收到内部或外部事件时的响应方式, 从而为系统设计提供清晰的指导。行为模型通常关注事件的触发、系统对象的响应以及信息流和控制流。通过活动图和状态图, 可以清晰表达系统的行为逻辑。

3.3.1 行为建模步骤

1. 分析用例序列

对所有用例进行分析, 明确系统中各参与者与系统之间的交互序列, 识别每个用例的执行步骤。

2. 事件识别

事件定义为系统与参与者之间信息交换的发生。通过分析用例中各活动的触发点, 识别出事件的类型、触发对象以及事件条件。事件可以是系统主动生成, 也可以是外部参与者触发。

3. 事件与对象的关联

将事件分配给涉及的对象。对象可生成事件 (如物业维护人员上传图像) 或识别其他对象生成的事件 (如系统识别上传图像完成状态) 。

4. 序列建模

对每个用例建立事件序列, 明确每一步的触发条件、响应行为以及异常处理流程。

5. 状态建模

对系统核心对象在事件驱动下的状态变化进行建模, 确保在不同输入条件下系统行为的一致性与正确性。

6. 模型验证

审查行为模型，确保与用例、功能需求和系统目标一致，能够完整描述系统的动态行为。

3.3.2 行为建模概述

本系统的行为建模基于三个核心功能模块：

1. 裂纹检测模块

(1) 核心事件包括图像上传、图像接收、玻璃区域提取、裂纹检测、缺陷标注、结果存储。

(2) 异常事件包括图像上传失败、格式不符合要求等。

2. 不平整度检测模块

(1) 核心事件包括结构光投影准备、投影、双目同步拍摄、图像上传、差分图生成、亚像素角点提取、双目立体匹配、点云生成、平面拟合、偏差计算、定性与量化分析、结果存储。

(2) 异常事件包括上传失败、角点提取失败等。

3. 检测结果汇总与报告生成模块

(1) 核心事件包括读取裂纹检测结果、读取不平整度检测结果、汇总结果、生成最终报告、归档原始数据。

(2) 异常事件包括数据库读取失败或结果缺失。

3.3.3 事件识别

在基于行为的建模过程中，事件是驱动系统行为变化的核心因素。事件表示系统与外部参与者或内部组件之间一次信息交换的发生，而非具体传输的数据内容。通过对用例场景的分析，可以识别系统运行过程中可能出现的关键事件，并将其

分配给相关对象，从而为后续的活动图、状态建模和系统设计提供基础。

本系统的事件识别基于以下原则开展：

1. 事件来源于用例中的交互行为；
2. 每个事件均对应至少一个触发对象和一个响应对象；
3. 事件可能影响系统的控制流或数据流；
4. 异常流程同样被视为重要事件进行识别。

结合裂纹检测、不平整度检测以及最终检测报告生成三个核心功能模块，识别系统中的主要事件如下。

3.3.3.1 裂纹检测相关事件识别

裂纹检测行为主要由物业维护人员通过 Web 前端触发，系统在接收到图像数据后执行一系列自动化处理流程。其关键事件包括：

事件 E1：裂纹检测图像上传

触发对象：物业维护人员

响应对象：系统前端模块、裂纹检测服务

说明：用户向系统提交用于裂纹检测的玻璃幕墙图像，是裂纹检测流程的起始事件。

事件 E2：图像上传成功/失败

触发对象：系统

响应对象：裂纹检测模块、前端界面

说明：系统完成对上传图像的接收与校验，并根据结果触发后续处理或异常提示。

事件 E3：玻璃区域提取完成

触发对象：裂纹检测模块

响应对象：裂纹检测算法模块

说明：系统完成玻璃区域分割，为裂纹识别提供有效输入。

事件 E4：裂纹检测完成

触发对象：裂纹检测算法模块

响应对象：系统控制逻辑

说明：系统完成裂纹识别过程，产生检测结果。

事件 E5：裂纹存在/不存在判定

触发对象：系统

响应对象：结果标注模块、数据库

说明：系统根据检测结果触发不同的控制分支（缺陷标注或无缺陷记录）。

事件 E6：裂纹检测结果存储完成

触发对象：系统

响应对象：数据库、后续流程

说明：检测结果被成功写入临时存储或数据库，裂纹检测流程结束。

异常事件 E7：图像上传失败

触发对象：系统

响应对象：前端界面、日志模块

说明：上传失败导致裂纹检测流程中断。

3.3.3.2 不平整度检测相关事件识别

不平整度检测涉及结构光投射、双目视觉采集和三维点云分析，其行为链条较长，

事件来源既包括用户操作，也包括系统内部处理结果。

事件 E8：结构光检测流程启动

触发对象：检测机构技术员

响应对象：系统控制模块

说明：用户开始进行平整度检测任务。

事件 E9：结构光投射完成

触发对象：投影系统

响应对象：双目相机采集模块

说明：投影系统完成有光/无光投影切换。

事件 E10：双目图像采集完成

触发对象：双目相机系统

响应对象：图像上传与处理模块

说明：系统获得用于不平整度分析的原始图像数据。

事件 E11：双目图像上传成功/失败

触发对象：系统

响应对象：不平整检测模块、前端界面

说明：系统校验双目图像上传结果。

事件 E12：差分图生成完成

触发对象：系统

响应对象：角点检测模块

说明：系统通过“有光-无光”差分生成结构光增强图像。

事件 E13：角点提取成功/失败

触发对象：角点检测模块

响应对象：立体匹配模块或错误处理模块

说明：该事件直接影响后续流程是否继续。

事件 E14：点云生成完成

触发对象：立体匹配模块

响应对象：点云分析模块

说明：系统完成三维重建，得到玻璃幕墙点云数据。

事件 E15：平面拟合与偏差计算完成

触发对象：不平整分析模块

响应对象：定性与定量分析模块

说明：系统获得平整度偏差分布结果。

事件 E16：不平整度检测结果存储完成

触发对象：系统

响应对象：数据库、报告生成模块

说明：不平整度检测流程结束。

异常事件 E17：角点提取失败

触发对象：角点检测模块

响应对象：错误报告模块、前端界面

说明：系统生成错误报告并中止检测流程。

3.3.3.3 最终检测报告生成相关事件识别

最终检测报告生成是对裂纹检测和不平整度检测行为的汇总，其事件主要由用户请求和系统内部数据状态驱动。

事件 E18：生成最终检测报告请求

触发对象：物业维护人员 / 工程验收人员

响应对象：报告生成模块

说明：用户请求生成综合检测报告。

事件 E19：裂纹检测结果读取完成

触发对象：系统

响应对象：报告生成模块

说明：系统成功从数据库中读取裂纹检测数据。

事件 E20：不平整度检测结果读取完成

触发对象：系统

响应对象：报告生成模块

说明：系统成功读取不平整度检测结果。

事件 E21：检测结果汇总完成

触发对象：系统

响应对象：报告生成模块

说明：系统整合多源检测数据。

事件 E22：最终检测报告生成完成

触发对象：系统

响应对象：用户前端、归档模块

说明：系统生成可下载、可归档的最终检测报告。

事件 E23：数据归档完成

触发对象：系统

响应对象：数据库、历史记录管理模块

说明：原始数据与检测结果被长期保存。

异常事件 E24：检测结果缺失

触发对象：系统

响应对象：前端界面

说明：系统提示报告生成条件不满足。

3.3.4 UML 活动图

系统行为通过活动图进行可视化建模，清晰描述事件触发、处理流程和异常处理逻辑。

1. 玻璃幕墙缺陷智能检测系统总活动图

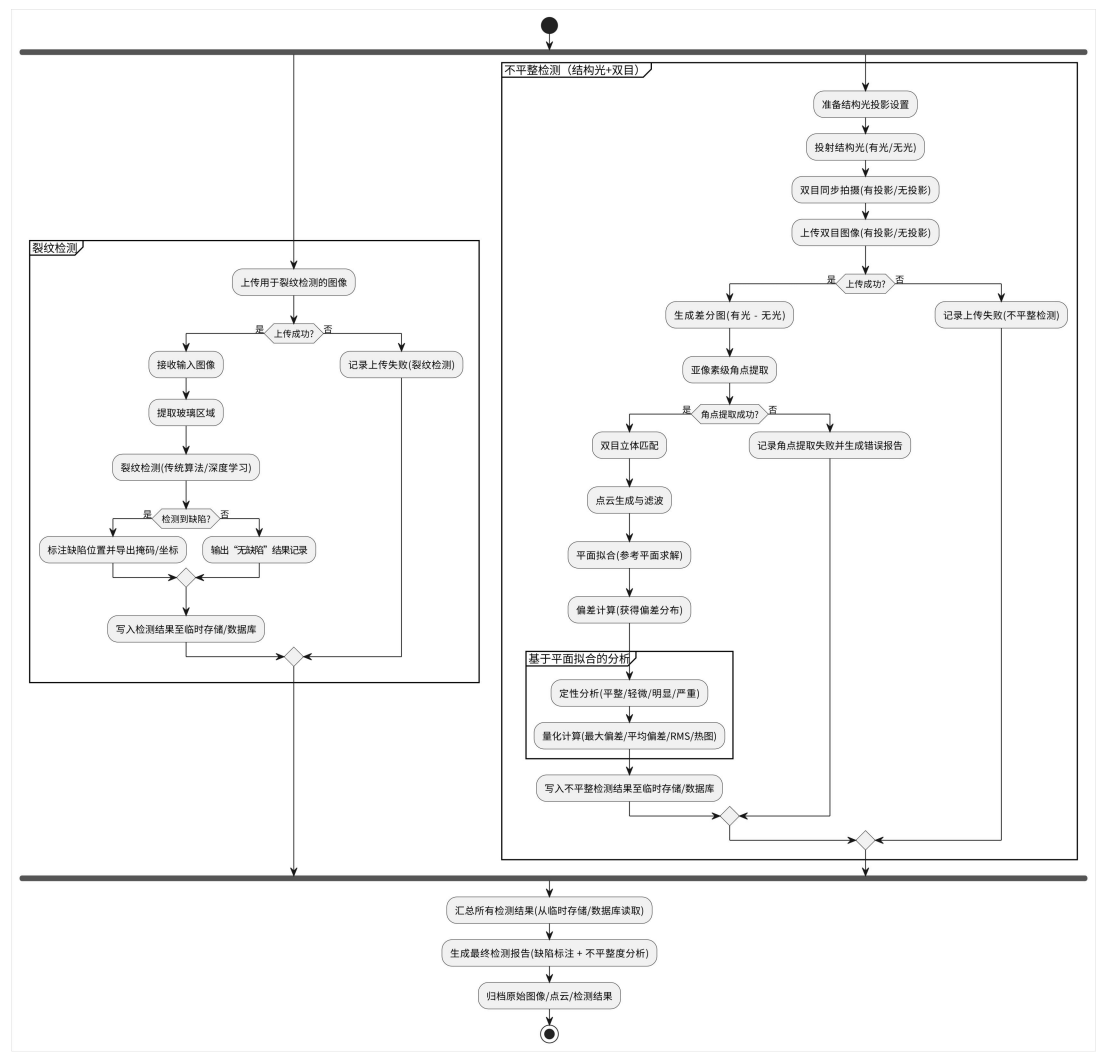


图 3.9 玻璃幕墙缺陷智能检测系统总活动图

2. 裂纹检测活动图

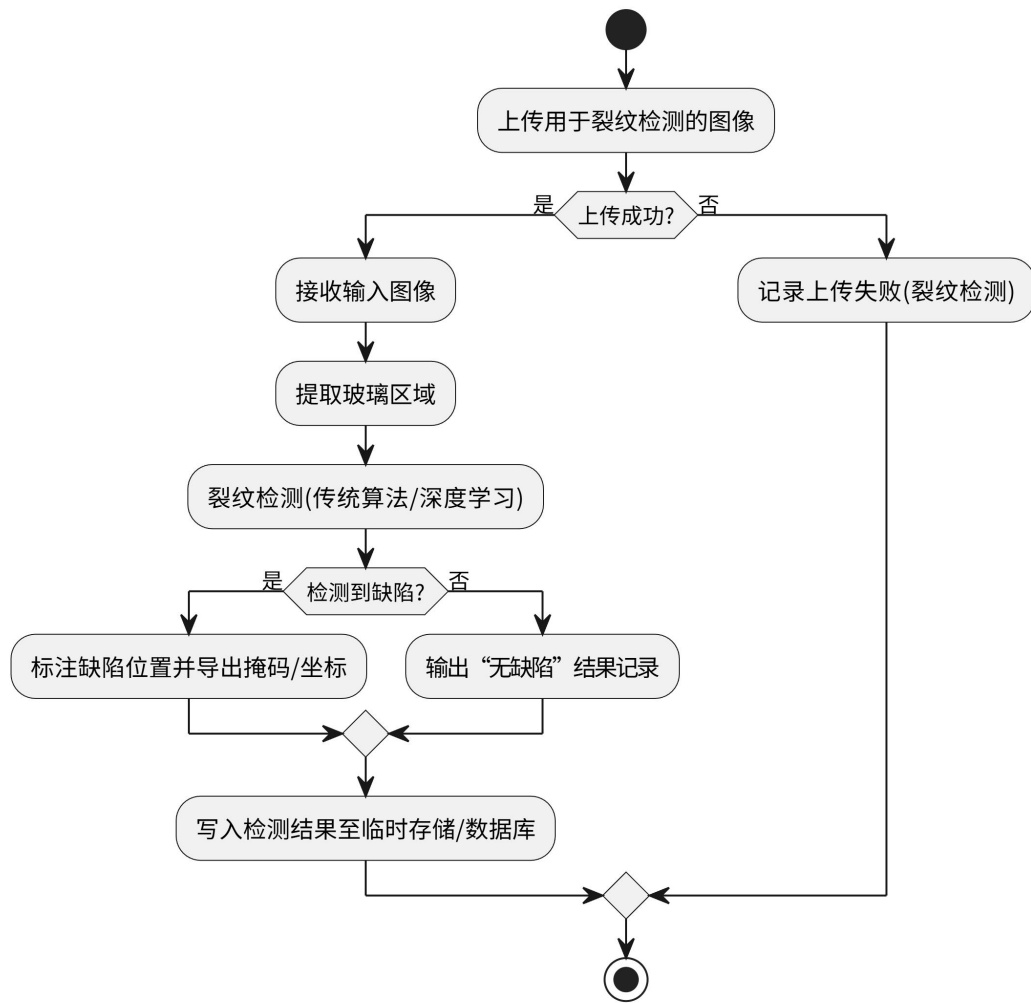


图 3.10 裂纹检测活动图

3. 不平整度检测活动图

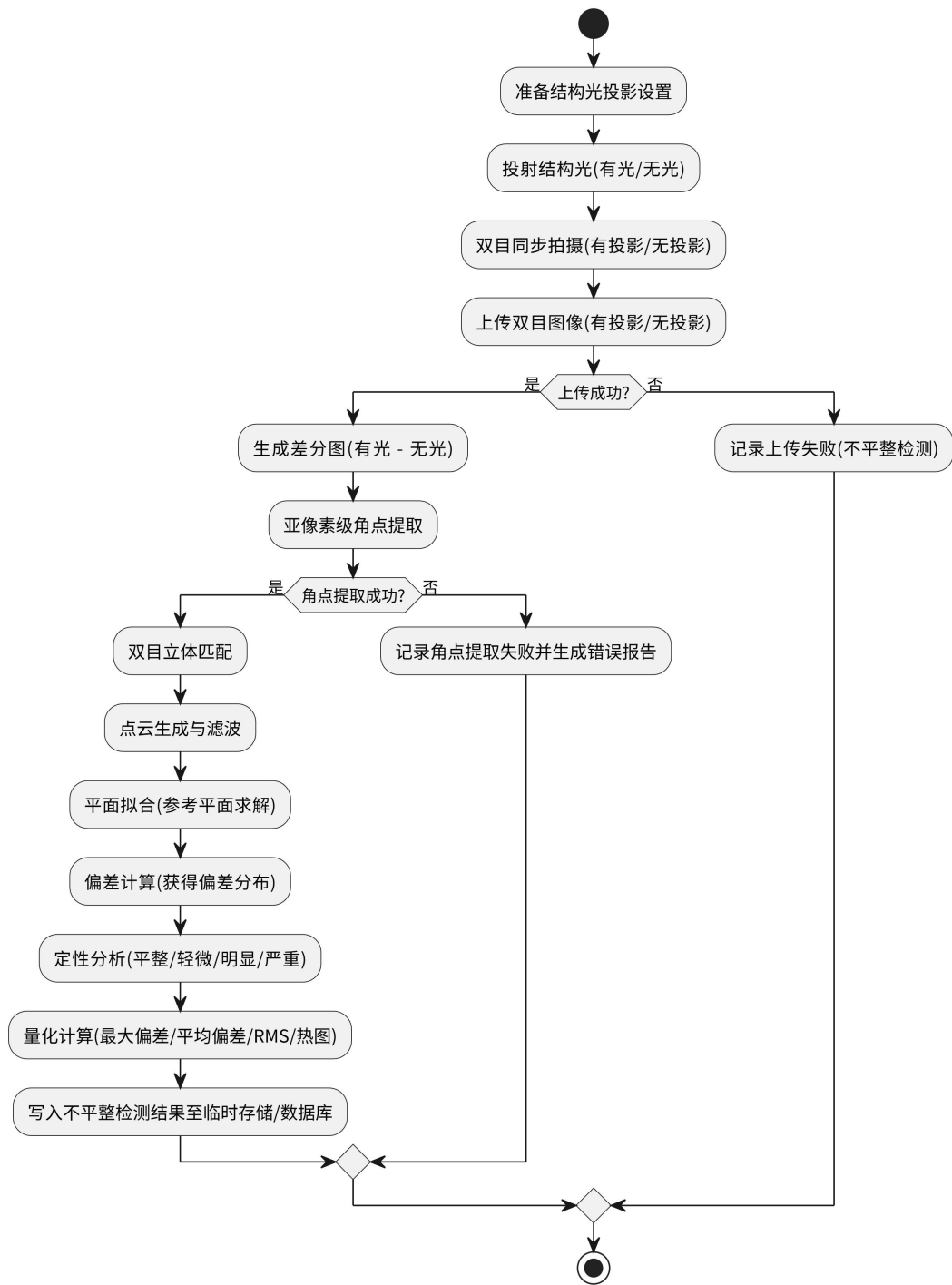


图 3.11 不平整度检测活动图

4. 检测结果汇总与报告生成活动图

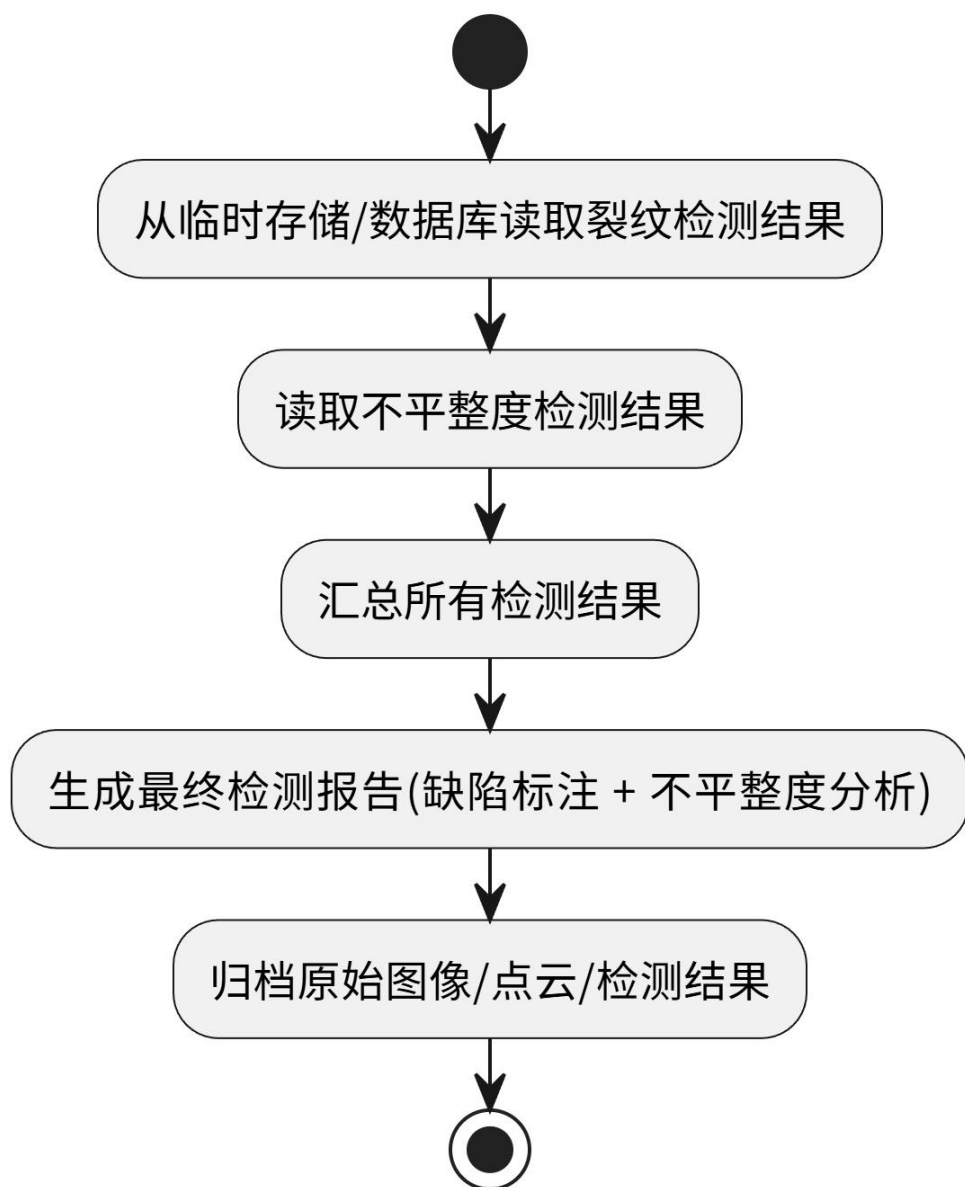


图 3.12 检测结果汇总与报告生成活动图

3.4 数据集来源说明

本系统在需求建模与功能定义过程中，对数据集来源进行了明确界定，以确保系统功能设计的可行性、检测结果的可靠性以及后续系统验证与评估的可执行性。

系统所涉及的数据集主要来源于以下几个方面：

首先，在裂纹检测功能中，系统所需图像数据主要来源于公开研究或工程实践中

的相关图像样本，比如关于裂纹检测的开源大模型训练数据中的数据集。这类数据用于刻画真实环境下玻璃表面裂纹的形态特征，为裂纹检测需求的提出和检测精度要求的设定提供基础支撑。

其次，在玻璃幕墙平整度检测功能中，系统所涉及的数据集主要来源于人工采集的结构光双目视觉采集过程所生成的原始图像数据。该类数据包括结构光投射图像、双目同步采集图像以及由此计算得到的中间差分数据和三维点云数据。这些数据反映了幕墙玻璃在实际工程环境中的空间形态特征，是系统进行平整度分析和量化评价的核心数据基础。

需要说明的是，本系统在需求层面仅对数据类型、数据来源方式及数据使用目标进行描述，并不限定具体数据集的规模、采集设备型号或采集参数。具体的数据采集方案、数据预处理方法及数据质量控制策略将在系统设计与实现阶段进一步确定。

4.需求规约

4.1 功能需求

FR-1 裂纹检测功能

FR-1.1 图像上传

系统应当允许用户上传用于裂纹检测的图像文件。

系统在图像上传失败时，应记录失败信息并返回失败状态。

FR-1.2 图像接收与验证

在图像上传成功后，系统应接收图像并验证格式、分辨率及可读性。

FR-1.3 玻璃区域提取

系统应自动从上传图像中分割玻璃区域，排除窗框、墙体等背景区域。

FR-1.4 裂纹识别

系统应基于传统图像处理或深度学习模型对玻璃区域执行裂纹检测。

FR-1.5 裂纹结果判断

当检测到裂纹时，系统应标注缺陷位置，并导出掩码或坐标信息。

当未检测到裂纹时，系统应输出“无缺陷”的检测结果。

FR-1.6 裂纹检测结果存储

系统应将裂纹检测的结果（含标注信息与检测状态）写入临时存储或数据库。

FR-2 不平整度检测

FR-2.1 检测设备准备

系统应支持配置结构光投影模式（棋盘格、有光/无光切换）。

FR-2.2 结构光投射

系统应控制投影仪完成有光与无光两种模式的图案投射。

FR-2.3 双目同步拍摄

系统应同步触发双目相机拍摄有投影与无投影两组图像。

FR-2.4 不平整检测图像上传

系统应允许用户上传上述四张双目图像，用于差分计算。

上传失败时，系统应记录失败信息并终止后续流程。

FR-2.5 差分图生成

系统应通过计算“有光 - 无光”图像差分，生成反射抑制后的结构光差分图。

FR-2.6 角点检测（亚像素级）

系统应从差分图中提取棋盘格角点，并达到亚像素级精度。

若角点提取失败，系统应记录失败信息并生成错误报告。

FR-2.7 双目立体匹配

系统应对双目图像进行立体匹配，生成稠密点云或稀疏特征点云。

FR-2.8 点云生成与预处理

系统应从立体匹配结果中生成点云，并对点云进行滤波与噪声剔除。

FR-2.9 平面拟合

系统应使用拟合算法 (例如 RANSAC 或最小二乘法) 估计玻璃幕墙的参考平面。

FR-2.10 基于平面拟合的不平整分析

FR-2.10.1 定性分析

系统应根据点云偏差进行不平整等级判定（平整 / 轻微 / 明显 / 严重）。

FR-2.10.2 定量分析

系统应计算不平整度的工程指标，包括但不限于：

- 最大偏差 (Max Deviation)
- 平均偏差 (Mean Deviation)
- 均方根偏差 (RMS)
- 偏差热图 (可选)

FR-2.11 不平整检测结果存储

系统应将最终的不平整检测结果写入临时存储或数据库。

FR-3 检测结果汇总与报告生成

FR-3.1 结果读取

系统应从临时存储或数据库中读取裂纹检测和不平整度检测结果。

FR-3.2 自动报告生成

系统应自动生成包括以下内容的检测报告：

- 裂纹检测标注图
- 点云偏差分布或热图
- 不平整度定性等级
- 不平整度量化指标

FR-3.3 数据归档

系统应归档原始图像、双目图像、差分图、点云及检测结果。

4.2 非功能需求

1. **性能：**单张裂纹检测 ≤ 10 秒；不平整度量化 ≤ 1 分钟；支持 1000+ 图像及 10000+ 点云存储。
2. **可靠性：**保证反射场景下稳定识别，错误提示而非崩溃。
3. **命中率：**保证裂纹检测的命中率在 [0.85, 1.0] 的区间中。
4. **准确性：**保证不平整度检测中点云的点位置误差小于 0.02mm。
5. **可用性：**界面简洁、一键检测，无需专业培训。
6. **可维护性/可扩展性：**模块化设计，支持升级与多设备兼容。
7. **安全性：**数据权限管理，施工方不可修改检测机构数据。

4.3 约束条件

硬件约束

C-1 投影仪支持棋盘格或结构光。

C-2 双目相机完成标定、同步曝光，保持刚性结构。

C-3 投影仪与幕墙距离需在 X-Y 范围。

环境约束

C-4 外界光照不能完全覆盖投影光。

C-5 风力影响不能导致采集设备震动。

技术约束

C-6 核心反射抑制采用投影反射差分。

C-7 双目重建采用固定标定参数。

行业/规范约束

C-8 不平整度指标必须符合 JGJ/T 139-2020、GB/T 21086-2007。

C-9 输出报告格式需符合工程验收要求。

5. 遵从标准

JGJ/T 139-2020 《玻璃幕墙工程质量检验标准》

GB/T 21086-2007 《建筑幕墙》

6.附录

6.1 用户故事

6.1.1 用户故事总览表

本列表用于对系统用户故事进行统一编号、归类与管理，为后续需求建模、优先级排序及需求追踪提供依据。所有用户故事均来源于对系统核心业务流程的分析。

用户故事 编号	用户故事名称	所属功能 模块	主要用户 角色	简要描述
US-1	裂纹检测	裂纹检测	物业维护 人员	对幕墙玻璃图像进行裂纹 检测并反馈结果
US-1.1	上传裂纹检测 图像	裂纹检测	物业维护 人员	上传用于裂纹检测的幕墙 玻璃照片
US-1.2	自动裂纹标注	裂纹检测	物业维护 人员	系统自动标注检测到的裂 纹位置
US-1.3	无缺陷结果反 馈	裂纹检测	物业维护 人员	在无裂纹情况下输出明确 的无缺陷结果
US-2	不平整度检测	不平整度 检测	检测机构 人员	对幕墙平整度进行工程级 检测与分析
US-2.1	结构光拍摄流 程	不平整度 检测	检测机构 技术员	指导完成结构光投射与双 目拍摄流程
US-2.2	差分与角点提	不平整度	检测工程	自动完成差分图生成与角

用户故事 编号	用户故事名称	所属功能 模块	主要用户 角色	简要描述
	取自动化	检测	师	点提取
US-2.3	不平整度定性 分析	不平整度 检测	工程验收 人员	输出平整度等级用于验收 判断
US-2.4	不平整度量化 指标	不平整度 检测	检测机构	提供工程可用的定量平整 度指标
US-3	报告生成与数 据管理	报告与管 理	监管方 / 施工方	汇总检测结果并形成报告
US-3.1	自动生成检测 报告	报告与管 理	监管方 / 施工方	自动生成完整的检测报告
US-3.2	数据归档与回 查	报告与管 理	物业 / 检 测单位	对检测数据进行长期归档 与历史回查

表 6.1 用户故事总览表

用户故事层级关系说明

为便于理解用户故事之间的层级关系, 本系统采用“史诗 (Epic) —用户故事 (User Story) ” 的组织方式:

US-1、US-2、US-3: 作为高层业务目标 (Epic)

US-1.x、US-2.x、US-3.x: 作为可实现、可验证的具体用户故事

6.1.2 用户故事描述

US-1 裂纹检测

US-1.1 上传裂纹检测图像

作为物业维护人员，
我希望能够上传一张幕墙玻璃照片，
以便系统自动检测是否有裂纹。

US-1.2 自动裂纹标注

作为维护人员，
我希望系统自动标注裂纹所在位置，
以便快速定位与记录。

US-1.3 无缺陷结果反馈

作为维护人员，
我希望在无裂纹情况下得到明确的“无缺陷”结果，
以便我能放心排除风险。

US-2 不平整度检测

US-2.1 结构光拍摄流程

作为检测机构技术员，
我希望系统指导我完成结构光投射与双目拍摄流程，
以便获得可用于工程级计算的原始数据。

US-2.2 差分 and 角点提取自动化

作为检测工程师，
我希望系统自动完成差分图生成和角点提取，
以减少人为干预，提高数据一致性。

US-2.3 不平整的定性分析

作为工程验收人员，
我希望系统输出幕墙平整度等级（平整/轻微/明显/严重），

以便判断是否需要整改。

US-2.4 不平整度量化指标

作为专业检测机构,

我希望系统提供最大偏差、平均偏差、RMS 偏差等工程可用指标,

以满足工程验收与质量追溯需求。

US-3 报告生成和数据管理

US-3.1 自动生成报告

作为监管方或施工方,

我希望系统自动生成一份完整的检测报告,

以便进行工程验收或问题追溯。

US-3.2 数据归档与回查

作为物业或检测单位,

我希望能归档所有图像、点云和检测结果,

以便未来随时回查历史检测记录。

6.2 参考文献

1. 中华人民共和国住房和城乡建设部. *玻璃幕墙工程质量检验标准* [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020. JGJ/T 139-2020. 发布日期: 2020-04-16, 实施日期: 2020-10-01.
2. 中铁建设集团有限公司, 中国铁路成都局集团有限公司客站建设指挥部, 重庆大学. *基于计算机视觉的玻璃幕墙施工误差检测方法* [P]. CN 119991654 A, 2025-04-11.
3. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.

建筑幕墙 [S]. GB/T 21086-2007. 发布日期: 2007-09-11, 实施日期: 2008-02-01.

4. OpenCV Development Team. *OpenCV: Open Source Computer Vision Library* [M]. 2024.

5. PyTorch Development Team. *PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library* [M]. 2024.

6. React Documentation. *React – A JavaScript Library for Building User Interfaces* [EB/OL]. 2024. <https://react.dev>

7. FastAPI Documentation. *FastAPI – High Performance Python Web Framework* [EB/OL]. 2024. <https://fastapi.tiangolo.com>

8. Spring Boot Documentation. *Spring Boot Reference Guide* [EB/OL]. 2024. <https://spring.io/projects/spring-boot>

6.2 三级目录：表目录和图目录

目录	
1. 引言	6
2. 需求概述	8
图 2.1 域分析的输入和输出	10
3. 需求建模	11
图 3.1 需求模型的元素	12
表 3.1 总用例表	13
图 3.2 玻璃幕墙缺陷智能检测系统需求建模总用例图	13
图 3.3 裂纹检测用例图	14

图 3.4 平整度检测用例图 15

图 3.5 最终报告检测生成用例图 17

图 3.6 本功能模块小前端交互用例图 18

图 3.7 系统上下文级数据流图 21

图 3.8 一级数据流图 22

表 3.2 数据实体与数据流定义表 23

图 3.9 玻璃幕墙缺陷智能检测系统总活动图 32

图 3.10 裂纹检测活动图 33

图 3.11 不平整度检测活动图 34

图 3.12 检测结果汇总与报告生成活动图 35

4. 需求规约 36

5. 遵从标准 40

6. 附录 41

表 6.1 用户故事总览表 42