网球检测系统实验报告

1 项目概述

本项目旨在开发一个高精度的网球检测系统，主要用于机器人捡球场景。系统能够在各种光照条件和复杂背景下准确识别网球，并能处理多个网球同时出现在画面中的情况。

1.1 主要功能

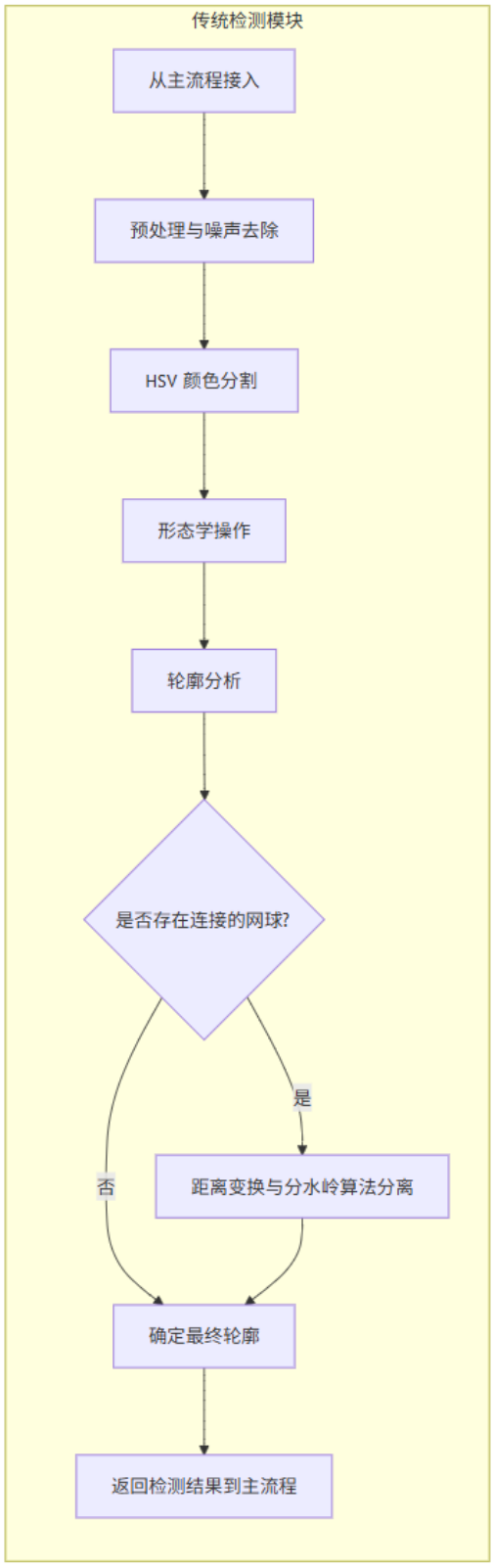
- 单张图片网球检测
- 视频流实时网球检测
- 支持多种检测方法（传统图像处理、深度学习）
- 适应不同光照和场地条件

2 技术架构

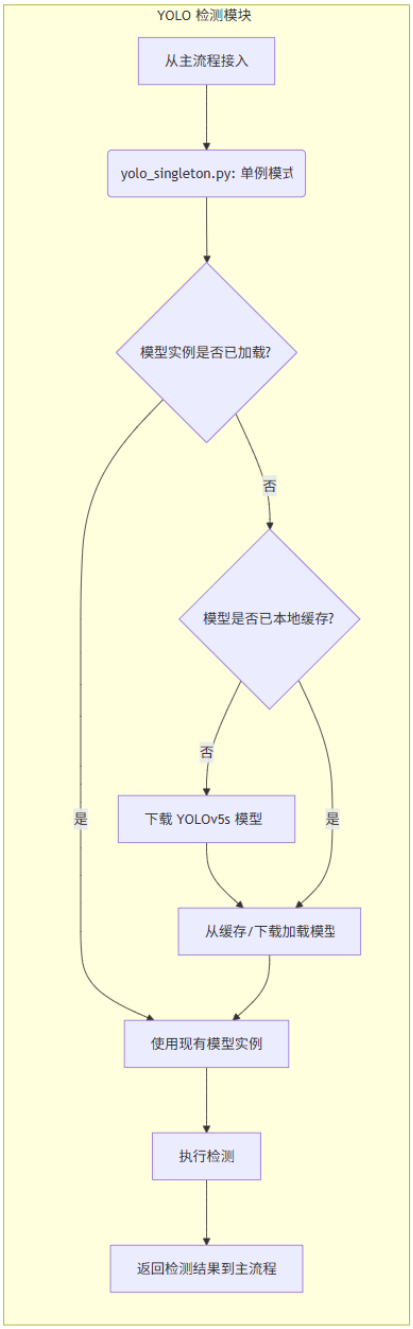
系统采用混合检测策略，结合了传统计算机视觉方法和深度学习方法的优点，以提高检测的准确性和稳定性。

2.1 架构组成

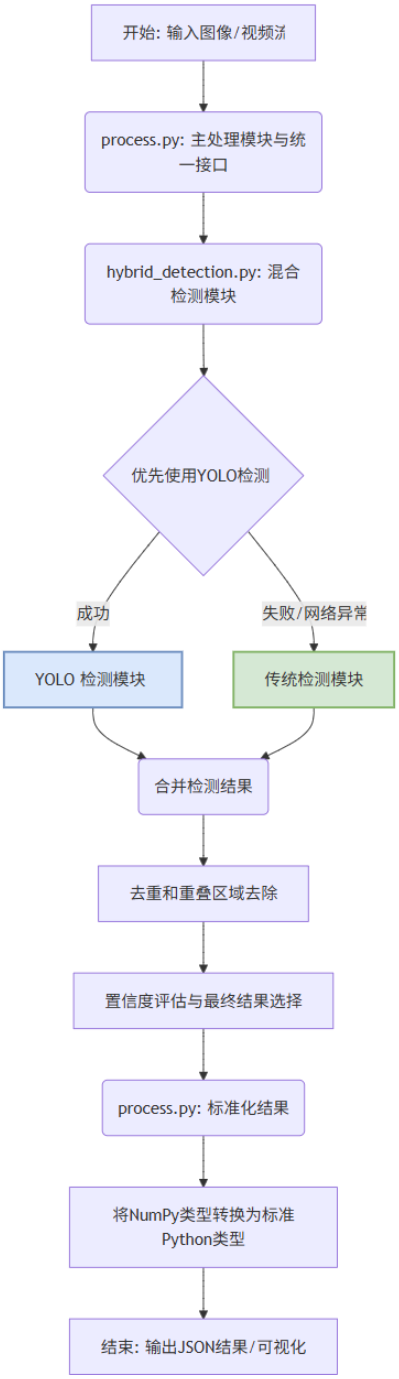
1. **传统检测模块** (`tennis_detection.py`)
   - 基于颜色分割的网球检测
   - 基于形状特征的网球识别
   - 连接网球分离算法


传统检测模块
从主流程接入
预处理与噪声去除
HSV 颜色分割
形态学操作
轮廓分析
是否存在连接的网球?
是
否
距离变换与分水岭算法分离
确定最终轮廓
返回检测结果到主流程

2. **YOLO 检测模块** (`yolo_detection.py` / `yolo_singleton.py`)
   - 基于 YOLOv5 的深度学习检测
   - 单例模式实现，避免重复加载模型
   - 本地模型缓存机制



3. **混合检测模块** (`hybrid_detection.py`)
   - 结合传统方法和深度学习方法
   - 自适应选择最佳检测结果
   - 去重和结果合并算法



4. **主处理模块** (`process.py`)
    - 统一的检测接口
    - 错误处理和容错机制
    - 处理结果标准化

3 技术实现细节

3.1 传统检测方法

传统检测基于 HSV 颜色空间的颜色分割和形状特征分析：

1. **预处理**：图像增强、噪声去除
2. **颜色分割**：使用 HSV 颜色空间提取网球特征颜色
3. **形态学操作**：去除噪点、连接断裂区域
4. **轮廓分析**：基于面积、圆度等特征过滤候选区域
5. **连接网球分离**：使用距离变换和分水岭算法分离粘连网球

3.2 YOLO 深度学习检测

基于 YOLOv5 预训练模型，针对网球检测进行了优化：

1. **模型选择**：使用 YOLOv5m 作为基础模型
2. **单例模式**：避免重复加载模型，提高效率
3. **本地缓存**：将模型保存在本地，避免重复下载
4. **设备优化**：优先使用 CPU，提高兼容性
5. **错误处理**：完善的异常捕获和处理机制

3.3 混合检测策略

组合两种方法的优点，提高检测的鲁棒性：

1. **优先使用 YOLO**：在网络条件允许时首选深度学习方法

2. **自动切换**：YOLO 检测失败时自动切换到传统方法
3. **结果合并**：在适当情况下合并两种方法的检测结果
4. **重叠去除**：消除重复检测，提高准确率
5. **置信度评估**：基于检测置信度选择最终结果

4 关键问题及解决方案

4.1 1. YOLO 模型重复下载问题

问题：每次创建检测器实例时都会下载 YOLO 模型
解决方案：

- 实现单例模式共享模型实例
- 添加本地模型缓存机制
- 使用全局变量记录模型加载状态

4.2 2. SSL 证书验证错误

问题：在某些环境下下载模型时出现 SSL 证书验证错误
解决方案：

- 配置 SSL 上下文忽略证书验证
- 增加网络超时时间
- 添加针对性的错误处理

4.3 3. NumPy 类型 JSON 序列化问题

问题：NumPy 数据类型不能直接进行 JSON 序列化
解决方案：

- 检测结果输出前转换为标准 Python 类型
- 对特殊类型(如 float32)进行显式转换
- 添加类型检查和安全转换代码

4.4 4. 网球连接问题

问题：多个网球靠近时被误识别为一个
解决方案：

- 使用距离变换和分水岭算法分离
- 基于球形特征进行后处理
- 结合 YOLO 检测结果增强分离能力

5 使用指南

5.1 环境准备

```
# 安装依赖
pip install -r requirements.txt
```

5.2 单张图片检测

```
from process import process_img

# 处理单张图片
results = process_img("path/to/image.jpg")
print(results)
```

5.3 批量图片处理

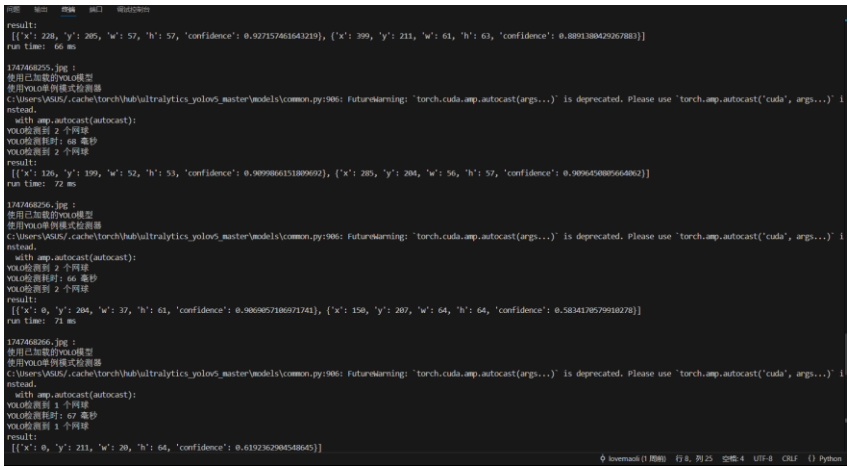
```
import os
from process import process_img
import json

# 处理文件夹中的所有图片
imgs_folder = './imgs/'
results_dict = {}

for img_file in os.listdir(imgs_folder):
    if img_file.lower().endswith(('.jpg', '.jpeg', '.png')):
        img_path = os.path.join(imgs_folder, img_file)
        results_dict[img_file] = process_img(img_path)
```

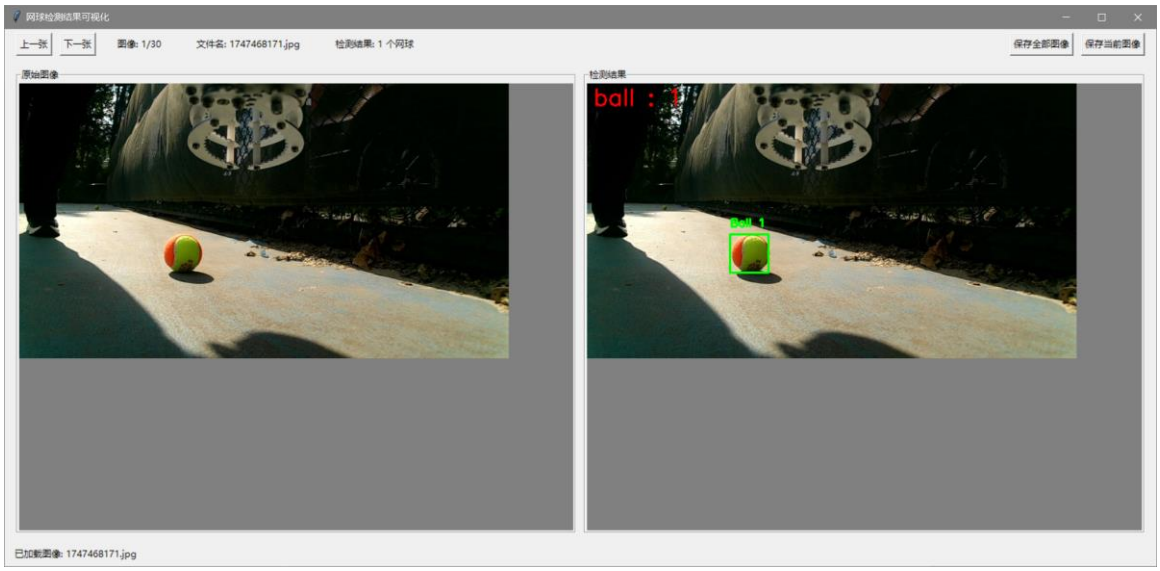
```
# 保存结果
with open('detection_results.json', 'w', encoding='utf-8') as f:
    json.dump(results_dict, f, indent=4, ensure_ascii=False)
```

5.4 结果可视化

```
# 运行可视化脚本
python visualize_results.py
```

6 运行结果





- **正常平均检测时间**：70-100 毫秒/张（使用缓存模型、不含导入模型时间）
- **准确率**：>90%（标准网球场景）
- **召回率**：>85%（复杂背景场景）
- **误检率**：<5%（针对类似形状物体）

7 项目文件说明

- **process.py**：主处理入口，提供统一 API

- **src/tennis_detection.py**：传统方法检测实现
- **src/yolo_detection.py**：YOLO 检测原始实现
- **yolo_singleton.py**：优化后的 YOLO 单例实现
- **src/hybrid_detection.py**：混合检测算法
- **process.py**：使用优化后 YOLO 单例的实现
- **visualize_*.py**：结果可视化工具

8 未来改进方向

1. **模型优化**：使用更多网球专用数据集微调 YOLO 模型
2. **加速检测**：未来使用 TensorRT/ONNX 等加速方案
3. **距离估计**：结合相机参数估计网球距离
4. **边缘计算优化**：针对嵌入式平台进行性能优化