

# 无人机遥感图像数据可视化系统的设计与实现

梁豆豆, 刘文萍

北京林业大学, 北京

Email: liangddou@163.com, wendyl@vip.163.com

收稿日期: 2021年7月15日; 录用日期: 2021年8月11日; 发布日期: 2021年8月18日

## 摘要

林业疫木防治工作中, 三维地球平台上疫木侵染信息可视化使数据空间分布和关联更加清晰直观, 有助于林业工作人员高效率地对病树及时防治。本文利用数据库技术、目标检测技术以及三维地球可视化技术处理无人机遥感图像为林业研究提供重要依据。首先, 无人机拍摄林区图片以及视频, 将图像数据按照拍摄地点、拍摄日期、拍摄角度、病虫类型等信息上传数据库。其次, 以松材线虫和红脂大小蠹为试验对象, 利用SSD目标检测算法检测出受害区域。最后, 将检测结果图在三维地球上可视化。本文提出的基于无人机遥感图像数据的存储、检测以及可视化对林业发展创造价值。

## 关键词

遥感图像, 数据库, 目标检测, 可视化

# Design and Realization of UAV Remote Sensing Image Data Visualization System

Doudou Liang, Wenping Liu

Beijing Forestry University, Beijing

Email: liangddou@163.com, wendyl@vip.163.com

Received: Jul. 15<sup>th</sup>, 2021; accepted: Aug. 11<sup>th</sup>, 2021; published: Aug. 18<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In the prevention and control of forest diseased trees, the visualization of diseased trees infestation information on the three-dimensional earth platform makes the spatial distribution and correlation of data clearer and more intuitive, which helps forestry staff to efficiently prevent and control diseased trees in a timely manner. The database technology, object detection technology and three-dimensional earth visualization technology are used in this paper to process the UAV

remote sensing images for providing an important basis for forestry research. Firstly, the forest area pictures and videos are taken by the UAV. The images are uploaded to the database according to the shooting location, shooting date, shooting angle, pest type and other information. Secondly, the pine wood nematode and red fat beetle are chosen as the experiment data in this paper, and the SSD object detection algorithm is used to realize the detection of the affected area. Finally, the detection results are visualized on the three-dimensional earth. The storage, detection and visualization of remote sensing image data based on the UAV proposed in this paper create value for forestry development.

## Keywords

Remote Sensing Image, Database, Object Detection, Visualization

Copyright © 2021 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

国家林业局 2009 年颁发的《全国林业信息化建设纲要》[1]提出,要加快林业信息服务的发展,以林业数据促进林业决策科学化,而《全国林业信息化建设技术指南》[1]把可视化技术列为林业信息化发展的核心技术之一。可视化技术得到如此重视是因为它能够向用户提供一个高效的可视化环境,辅助用户对数据进行深层次的挖掘,不断找出数据的特征,以及内在的联系与规律[2]《全国林业信息化建设技术指南》[1]还指出,以林业信息查询、分析、统计等业务为主的应用适合采用浏览器/服务器架构进行开发,而以林业数据处理为主的应用适合采用客户端/服务器架构进行开发。由此可见,浏览器/服务器架构的林业数据可视化应用研究是林业信息服务建设的重要发展方向之一。

我国现有森林面积 2.2 亿公顷,森林蓄积量约 175.6 亿立方米,森林资源在保障我国生态安全、维持生态平衡、促进经济发展中发挥着重要作用。但过去十年间,全国林业有害生物年均发生面积超过千万公顷,直接经济损失超过千亿元[3] [4]。其中松材线虫是造成我国森林资源损失最为严重的重大外来有害生物,属于国家重大生态灾害。松材线虫破坏力极强,松树一旦感染 40 天左右就能死亡,且无有效的药物可治,被称为松树的“癌症”。截止到 2019 年 5 月,松材线虫病疫情已经扩散到我国 18 个省(直辖市、自治区)的 588 个县级行政区[5],对近 9 亿亩松林安全构成威胁,严重危害了松林资源和生态安全。

传统的松材线虫病监测主要利用人工调查,用肉眼或借助望远镜瞭望辖区内松林健康状况,调查结果具有较强的主观性,且监测范围小、效率低、漏判和误判率高。另一种监测手段是利用卫星遥感技术结合 GIS 观察病害分布情况,但卫星遥感监测成本高、时效性滞后,无法满足对松材线虫病疫情早监测、早发现的要求。近年来无人机因其易操作、成本低、时效性强等优点,开始应用于林业病虫害监测[6] [7] [8]。

近年来无人机技术的发展,为森林资源的遥感检测提供了新的手段[9]。然而,目前在无人机影像中识别松材线虫早期染病阶段疫木,仍处于目视判读的水平[10] [11],人工判别疫木的方法主观性强、工作效率低。对无人机影像中松材线虫早期染病阶段识别属于目标检测问题,在识别松材线虫疫木同时判定单株疫木位置。无人机遥感结合目标检测技术已开始应用于农林业领域:2018 年 Fan Zhun 等[12]在烟草识别问题中从无人机影像数据抽取多个候选区域后,利用卷积神经网络对烟草区域进行识别;同年孙钰

等[13]改进 SSD300 目标检测框架, 提出一种受红脂大小蠹侵染的油松检测方法, 实现森林病虫害无人机实时监测; 彭明霞等[14]于 2019 年采用结合 FPN (Feature pyramid network) 的 Faster R-CNN 检测方法, 在复杂背景下识别棉田中杂草, 为精确除草提供参考; 2020 年 Deng 等[15]使用 Faster R-CNN 目标检测模型识别无人机影像中的松材线虫病单株, 并推演单株疫木坐标位置。本文利用 SSD 目标检测框架, 对图片进行目标检测, 在检测结果图中利用红色方框标注被松材线虫侵染的疫木, 同时可查询该图片上疫木坐标位置及疫木株数。

综上所述, 目前松材线虫病在全国快速扩散, 已严重威胁到 9 亿亩松林的严峻形势, 本项目将无人机遥感图像上传至数据库系统, 通过 SSD 框架对图片进行目标检测, 将检测结果在 3D 地球上可视化, 构建出一套无人机遥感图像数据可视化系统, 为决策部门及时排除病害险情提供准确的信息。

## 2. 相关技术

### 2.1. SSM 框架

SSM 框架整合 Spring, Spring MVC, 和 Mybatis 框架, 是标准的 MVC 模式, 该模式将整个系统划分为表现层, controller 层, service 层, DAO 层四层。其中, Spring 是一个开源框架, 其核心是控制反转、依赖注入及 AOP 面向切面编程。Spring 在配置文件中可指定特定参数调用实体类构造方法以完成实例化对象。SpringMVC 是一个表现层框架, 它应用于 web 层, 相当于一个 controller, 用来处理用户请求, 即从请求中接收传入的参数, 将处理后的结果返回给页面进行展示。Mybatis 是一个 ORM 框架, 它基于 Java 的持久化框架, 是对 jdbc 的封装, 可使数据库底层操作变得透明, 并简化 jdbc 开发成本。Spring 框架如图 1 所示。

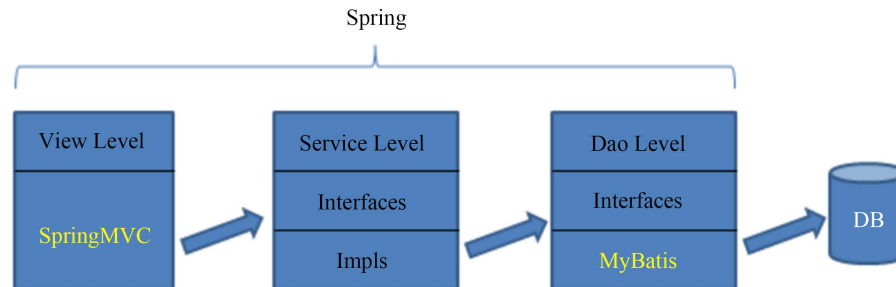


Figure 1. Spring framework  
图 1. Spring 框架

### 2.2. Vue.js 框架

Vue.js 是一个 JavaScriptMVVM 库, 即一套构建用户界面的渐进式框架。该框架以数据驱动和组件化的思想构建, 采用自底向上增量开发设计。同时, Vue.js 是一个用于创建用户界面的开源 JavaScript 框架, 也是一个创建单页应用的 Web 应用框架, 旨在更好地组织与简化 Web 开发。Vue.js 的核心是 MVC 模式中的视图层, 该视图层可方便地获取数据更新, 并且可通过组件内部特定的方法实现视图与模型的交互。Vue.js 包含声明式渲染、组件化系统、客户端路由、大规模状态管理、构建工具、数据持久化、跨平台支持等。它提供 MVVM 风格的双向数据绑定的 Javascript 库, 其核心是 MVVM 中的 VM, 即 ViewModel, 负责连接 View 和 Model, 保证视图和数据的一致性, 这种轻量级的架构让前端开发更加高效、便捷。如图 2 所示是 MVVM 模式的示意图, 分为三个部分: View (DOM)层、ViewModel (Vue)层以及 Model (JS 逻辑层)。其中, 在 Viewmodel 层包含两个类似监听器的部件, DOM Listeners 和 Data Bindings,

当 View 层的数据状态发生改变时, Dom Listeners 监听 Model 层并改变 Model 层的数据。当 Model 层的数据发生改变时, ViewModel 层的 Data Bindings 监听并改变 View 层数据的显示。即 Vue 的特性: 数据的双向绑定。

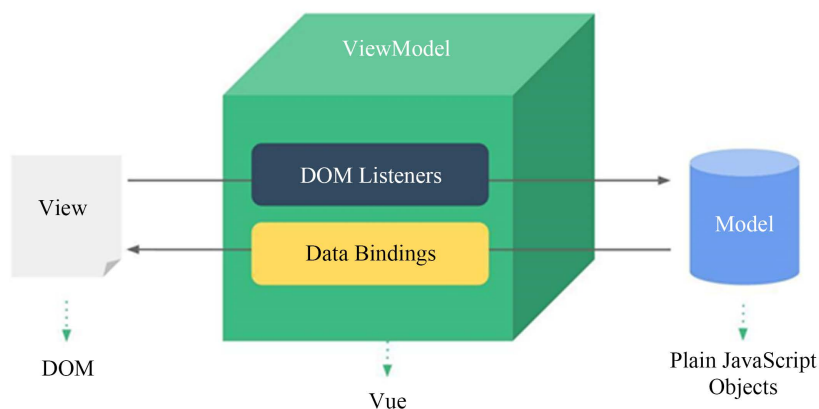


Figure 2. MVV model  
图 2. MVV 模型

### 2.3. MySQL

MySQL 关系型数据库管理系统,它是 Web 应用方面 RDBMS (Relational Database Management System: 关系数据库管理系统)应用软件之一。该数据库管理系统由瑞典 MySQL AB 公司开发,目前属于 Oracle 公司。MySQL 是一种关联数据库管理系统,关联数据库将数据保存在不同的表中,使加载数据的速度加快并提高灵活性。MySQL 关系型数据库通过“客户端/服务器”模式实现,是一个多用户、多线程的小型数据库,具有稳定、可靠、管理方便以及支持众多系统平台的特点,适用于中小项目的开发[16]。MySQL 软件使用 C 和 C++进行编写,通过多种测试,确保了源代码的移植[17]。

无人机遥感图像数据可视化系统中的图片、视频数据通过 MySQL 关系型数据库的增加、删除、查询和修改操作将正确的结果返回给用户,用户在系统前端通过 UI 组件操作,可实现查看图片、播放视频、在三维地球查看图像数据以及查看疫木侵染程度的功能。

### 2.4. Nginx

Nginx 是一个开源的、支持高性能、高并发的 www 服务和代理服务软件。该软件支持的负载均衡方式有轮询、IP 哈希、URL 哈希、加权轮询和最少连接数法等多种方式[18]。由一个核心和一系列模块组成,核心主要提供 Web Server 的基本功能,以及 Web 和 Mail 反向代理的功能。Nginx 的系列模块提供了 core 内核、event 事件、HTTP 服务、mail 邮件和 misc 杂项五种类别,每一类模块根据需要具有多种模块[19]。

### 2.5. Cesium

Cesium 是一款面向三维地球,世界级的 JavaScript 开源产品。即一个新兴的三维开发框架,可借助 HTML5 新一代网页标准和 WebGL 技术规范在 Web 端实现动态的三维场景渲染。其中,HTML5 新添加的 canvas 和媒体资源等标签[20]可在 Web 窗口页面中添加独立元素,实现诸如 HTML 文件及媒体资源等的添加,提供更为丰富的可视化实景场景[21]。Cesium 提供基于 JavaScript 语言的开发包,方便用户快速搭建一款零插件的虚拟地球 Web 应用,并在性能、精度、渲染质量、多平台以及易用性上具有高质量保

证。该系统通过 Cesium 平台, 以三维地球可视化无人机遥感图像数据的信息, 可直观看到各个地区上传的图片视频的信息。

## 2.6. CentOS

CentOS 是一个基于 Red Hat Linux 提供的可自由使用源代码的企业级 Linux 发行版本。其完全免费, 独有的 yum 命令支持在线升级, 可以即时更新系统等特性。由于 CentOS 7 系统采用了 XFS 文件系统, XFS 能够通过日志很好的保护系统数据的完整性[22]。也使得其成为了本次研究的十分重要的工具。本次研究使用 CentOS 作为服务端的操作系统, 确保了整个平台的后端能够高效稳定的运行。

## 3. 数据库设计

无人机遥感图像数据可视化系统使用 MySQL 关系型数据库管理系统, 为多种编程语言提供 API, 并使用多种编译器进行测试, 保证源代码的可移植性。本文采用依据数据库实现数据表的连接减少数据的冗余[23]。根据实际情况共有 15 张数据库表格, 重点介绍以下几张表(见表 1~6):

**Table 1.** Images information

**表 1.** 图像信息表

字段	类型	说明	是否允许为空
Id	Int	自增主键	否
Upload_path	Varchar	上传路径	否
Upload_time	Datetime	上传时间	是
Photo_time	Datetime	拍摄时间	是
Photo_address	Varchar	拍摄地点	否
Pv_type	Int	数据类型	否
Creator	Int	上传者	是
Photo_type	Int	拍摄类型	是
Tree_type	Int	树种类型	是
Pest_type	Int	虫害类型	是
Photo_height	Int	图像拍摄高度	是
Images_size	Double	图像存储大小	是
Upload_video_path	Varchar	视频在服务器的存放路径	否
Longitude	Varchar	拍摄地经度	否
Latitude	Varchar	拍摄地纬度	否
Thumbnail_path	Varchar	压缩图像路径	否
Title	Varchar	地区名称	否

**Table 2.** Species information

**表 2.** 树种信息表

字段	类型	说明	是否允许为空
Id	Int	自增主键	否
Tree_name	Varchar	树种名称	否
Creator	Int	创建人	是
Creat_time	Datetime	创建时间	是

**Table 3.** Pest type information**表 3.** 虫害类型信息表

字段	类型	说明	是否允许为空
Id	Int	自增主键	否
Pest_name	Varchar	虫害名称	否
Creator	Int	创建人	是
Creat_time	Datetime	创建时间	是

**Table 4.** User information**表 4.** 用户信息表

字段	类型	说明	是否允许为空
Id	Int	自增主键	否
User_name	Varchar	用户名	否
Passwd	Varchar	密码	否
Passwd_salt	Varchar	密码盐, 增加密码安全性	否
Nick_name	Varchar	用户昵称	否
Phone	Varchar	联系方式	是
Email	Varchar	邮箱地址	是
Area_id	Varchar	所在行政区化	否
Mem_type	Int	用户类型	否
Login_fail_nums	Int	连续登陆失败次数	是
Mem_status	Int	用户状态	否
Creator	Int	创建者	否
Create_time	Datetime	创建时间	否
Updater	Int	修改人	否
Update_time	Datetime	修改时间	否
Is_first_login	Int	是否首次登陆	否

**Table 5.** User role**表 5.** 用户角色表

字段	类型	说明	是否允许为空
Id	Int	自增主键	否
Title	Varchar	角色名	否
Role_desc	Text	角色描述	否
Creator	Int	创建人	否
Create_time	Datetime	创建时间	否
Updater	Int	更新人	否
Update_time	Datetime	更新时间	否
Is_del	Int	是否删除	否



**Table 6.** Administrative division  
**表 6.** 行政区划表

字段	类型	说明	是否允许为空
Id	Int	自增主键	否
p_code	Varchar	父区划 CODE	否
title	Varchar	行政区划名称	否
node_level	Int	节点等级	否
full_code	Varchar	行政区划 12 位代码	否
code_path	Varchar	行政区划代码路径	否
creator	Int	创建人	否
create_time	Varchar	创建时间	否

## 4. 系统功能设计与实现

### 4.1. 系统结构设计

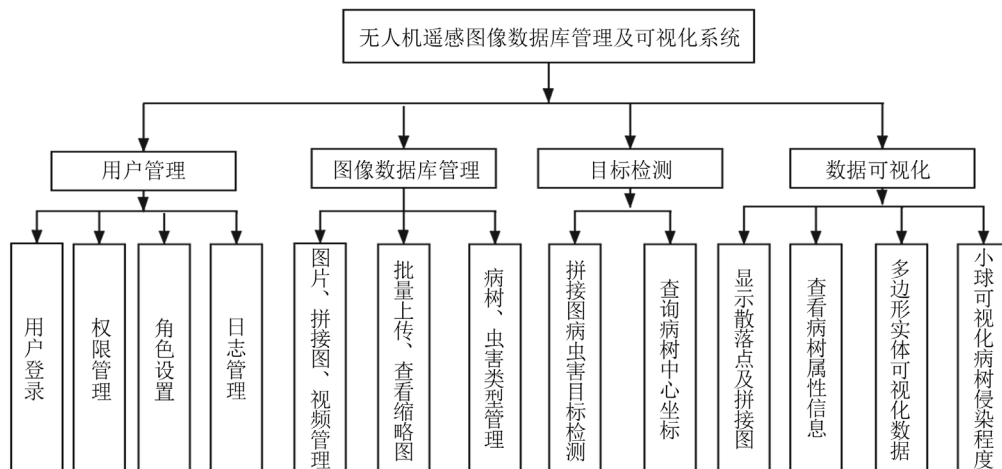
无人机遥感图像数据可视化系统主要分为四大模块，其主要功能如下所示。

1) 用户管理模块：用户登录管理、用户角色与权限管理以及用户登录的日志管理。为提高用户安全性，本系统对新用户数据可进行加密[24]。

2) 图像数据库管理模块：将无人机遥感图片、拼接图(即将多幅图像拼接成一幅大尺度图像)、视频上传至系统，用户可执行查询、删除操作，可查看缩略图，且在系统对病虫害、树种类型进行增加和修改。

3) 目标检测模块：系统查询拼接图，进行目标检测，检测出图片上病树的具体位置，可查询出病树的中心坐标。

4) 数据可视化模块：3D 地球可视化，即系统上传图片和视频的地区以红色气泡在 3D 地球上显示，点击红色气泡可查看图片以及视频的详细信息。利用不同颜色的多边形代表不同的地区，其高度代表上传图片以及视频的数量。同时利于不同颜色的小球可视化该地区上传拼接图中疫木株数，可表示疫木的侵染程度。系统逻辑结构示意图如图 3 所示。



**Figure 3.** System function module  
**图 3.** 系统功能模块

## 4.2. 系统主要功能设计

### 4.2.1. 用户管理模块

用户管理模块包含用户登录、用户权限管理、用户角色设置、日志管理等功能, 如图 4 所示。

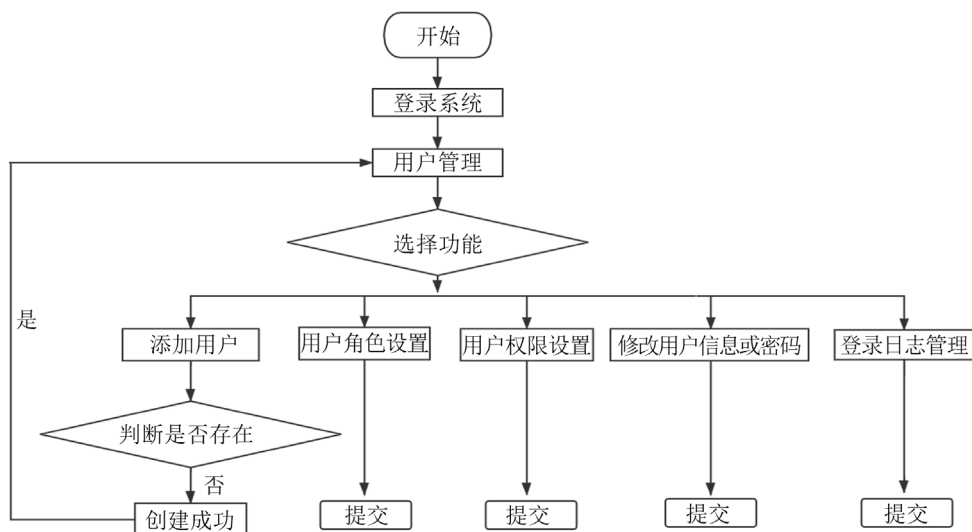


Figure 4. User management module

图 4. 用户管理模块

用户权限管理: 管理员可为本系统创建多个普通用户, 同时可修改用户的信息以及密码。创建用户须填写用户名、登录密码、用户手机号和邮箱等信息; 用户角色设置: 管理员可为本系统用户设置权限, 普通用户仅可查询系统图片及视频数据, 管理员可对系统数据进行修改; 登录日志管理: 用户登录系统时, 在系统里进行的一系列操作, 管理员均可在日志中查询, 并对日志进行管理。

### 4.2.2. 图像数据库管理模块

图像数据库管理模块主要是对图片及视频数据上传、查询、删除, 以及对病虫害类型和树种类型管理。上传功能: 支持批量上传图片, 主要根据拍摄地区、拍摄时间、拍摄角度、病树类型、病虫害类型上传图片以视频数据; 查询功能: 根据图片及视频上传的地区可模糊查询, 并支持查看缩略图; 病树、虫害类型管理: 支持树种及虫害类型增加、修改、删除, 如图 5 所示。



Figure 5. Database management module

图 5. 数据库管理模块



### 4.2.3. 目标检测模块

- 目标检测模块, 利用 SSD 目标检测框架, 其算法的运行步骤如下: 第一步输入一幅图片, 经过卷积神经网络(CNN)提取特征, 并生成 feature map; 第二步抽取其中六层的 feature map, 在 feature map 的每个点上生成 default box; 第三步将生成的所有 default box 集合起来, 先过滤掉类别概率低于阈值的 default box, 再采用 NMS 非极大值抑制, 即抑制的过程是一个迭代 - 遍历 - 消除的过程, 将所有候选框的得分进行排序, 选中最高分及其所对应的 BB, 遍历其余的框, 如果它和当前最高得分框的重叠面积大于一定的阈值, 将其删除, 从没有处理的框中继续选择一个得分最高的, 重复上述过程筛掉重叠度较高的, 输出筛选后的 default box, 并输出结果。根据图像检测结果, 计算出病树的经纬度返回给用户。如图 6 所示。



Figure 6. Object detection module

图 6. 目标检测模块

### 4.2.4. 数据可视化模块

数据可视化模块主要功能为: 图片及视频的散落点(上传图像的地区以红色气泡显示, 各个红色气泡即为散落点)显示, 图片视频数量以多边形实体可视化, 病树感染程度以不同颜色的小球可视化。

1) 散落点显示功能: 上传图片和视频数据的地区以红色气泡的形式在地球显示, 点击红色气泡, 可查询到该地区图片及视频的详细信息, 如拍摄时间、拍摄角度、拍摄类型、树种类型、病虫类型等信息, 点击查看详情可查询图片并播放视频。如图 7 所示。



Figure 7. Scattered point display

图 7. 散落点显示

2) 图片及视频数量显示: 系统以多变形实体高度可视化图片及视频的数量, 该实体高度越高表示该地区上传的图片及视频数量越多。如图 8 所示。



Figure 8. Polygon solid visualization

图 8. 多边形实体可视化

3) 病树侵染程度显示: 系统以不同颜色的小球代表该地区病树侵染程度, 点击小球可查询具体地区, 以及该地区上传图片中的疫木株数, 点击查看详情, 可查看病虫害检测结果图, 如图 9 所示。

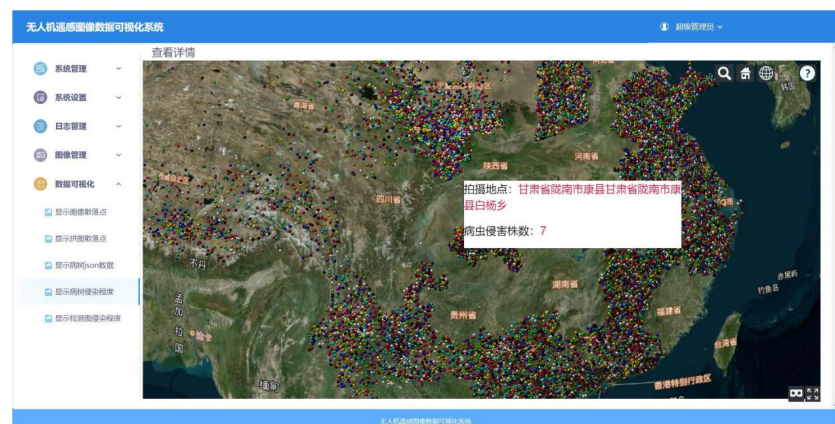


Figure 9. Visualization of the diseased tree infestation

图 9. 病树侵染程度可视化

## 5. 研究意义

相对于传统的数据库系统: 无人机遥感图像数据可视化系统支持拼接图上传以及无人机图片批量上传, 图片上传时可查看缩略图进行预览。该数据库系统部署到云服务器上, 林区工作人员可随时随地将拍摄的图片上传至系统并且进行目标检测, 通过检测结果图查看病树的具体坐标, 可及时对病树防治, 对林业的发展有重要的研究价值。

相对于其他可视化系统: 无人机遥感图像数据可视化系统在三维地球上利用红色气泡标注出上传图片及视频的地区, 用户可查看图片以及播放视频。该系统以多边形实体的高度表示各个地区的图片视频数量, 并且以小球的颜色显示地区的疫木侵染程度, 可查看疫木株数以及疫木具体坐标位置。三维地球可视化使用户在体验功能的同时又拥有良好的视觉感受。

## 6. 结论与展望

为解决无人机遥感图片以及视频数据存储空间大、数据保密性低、查看不方便等问题, 本文实现了无人机遥感图像数据可视化系统。该系统上传图片及视频的速度快、查询方便、数据安全性高, 并且操作简单、交互性强, 使用户拥有良好的体验感。三维地球的可视化使林业工作人员更直观地看到各个地区疫木侵染情况, 对未来林业树木防治工作有重要的意义。随着技术日新月异的发展, 对于数据库管理以及数据可视化的要求越来越高, 这就需要我们不停地去探索新的需求, 发展新的技术, 使得系统更加完善, 集成度更加深入。

## 基金项目

- 1) 国家重点研发计划“林业有害生物检测、监测与预警关键技术”(2018YFD0600201)。
- 2) 国家林业和草原局重大应急科技项目“松材线虫病防控关键技术研究示范”(ZD202001-05)。

## 参考文献

- [1] 国家林业局. 全国林业信息化建设纲要和技术指南(2008~2020年)[EB/OL]. [http://www.gov.cn/gzdt/2009-02/17/content\\_1233970.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2009-02/17/content_1233970.htm), 2020-07-29.
- [2] 王占刚, 庄大方, 邱冬生, 明涛. 林业数据挖掘与可视化的应用分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(4): 19-22, 141.
- [3] 史洁青, 冯仲科, 刘金成. 基于无人机遥感影像的高精度森林资源调查系统设计及试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 82-90.
- [4] 刘萍, 梁倩玲, 陈梦, 刘忠军, 盛兆湖, 苏延乐. 林业有害生物灾害损失评估指标体系构建[J]. 林业科学, 2016, 52(6): 101-107.
- [5] 张素兰, 覃菊, 唐晓东, 王宇杰, 黄金龙, 宋清亮, 等. 松材线虫危害下马尾松光谱特征与估测模型研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(3): 865-872.
- [6] 付卓新, 姚锐. 浅谈森林资源调查中无人机遥感的应用[J]. 南方农业, 2015, 9(36): 246, 248.
- [7] Dash, J.P., Watt, M.S., Pearse, G.D., Heaphy, M. and Dungey, H.S. (2017) Assessing Very High Resolution UAV Imagery for Monitoring Forest Health during a Simulated Disease Outbreak. *International Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **131**, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007>
- [8] Pajares, G. (2015) Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **81**, 281-330. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.4.281>
- [9] 晏磊, 廖小罕, 周成虎, 樊邦奎, 龚健雅, 崔鹏, 等. 中国无人机遥感技术突破与产业发展综述[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(4): 476-495.
- [10] 李卫正, 申世广, 何鹏, 郝德君, 方彦, 陶珑, 等. 低成本小型无人机遥感定位病死木方法[J]. 林业工程学报, 2014, 28(6): 102-106.
- [11] 陶欢, 李存军, 谢春春, 周静平, 淮贺举, 蒋丽雅, 等. 基于 HSV 阈值法的无人机影像变色松树识别[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(3): 99-106.
- [12] Fan, Z., Lu, J., Gong, M., Xie, H. and Goodman, E.D. (2018) Automatic Tobacco Plant Detection in UAV Images via Deep Neural Networks. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing*, **11**, 876-887. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2793849>
- [13] 孙钰, 周焱, 袁明帅, 刘文萍, 骆有庆, 宗世祥. 基于深度学习的森林虫害无人机实时监测方法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(21): 74-81.
- [14] 彭明霞, 夏俊芳, 辉彭. 融合 FPN 的 Faster R-CNN 复杂背景下棉田杂草高效识别方法[J]. 农业工程学报, 2019, 35(20): 202-209.
- [15] Deng, X., Tong, Z., Lan, Y. and Huang, Z. (2020) Detection and Location of Dead Trees with Pine Wilt Disease Based on Deep Learning and UAV Remote Sensing. *AgriEngineering*, **2**, 294-307. <https://doi.org/10.3390/agriengineering2020019>
- [16] 王丽娟, 靳继红. 基于 MySQL 的查询优化技术研究[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(30): 35-36.
- [17] 颜清, 苗壮, 赖鑫生, 蒋昌猛. 大数据时代关系数据库 MySQL 的创新与发展[J]. 科技风, 2020(20): 75-76.

- 
- [18] 魏鑫, 陈勇, 史晓睿, 刘广才, 董福安. 基于 Nginx 的服务器负载均衡策略研究[J]. 数码设计(上), 2019(12): 370.
  - [19] 李兵. Nginx 服务器性能优化研究[J]. 石河子科技, 2020(4): 36-37.
  - [20] Cozzi, P. (2018) Cesium. <http://cesiumjs.org/>
  - [21] Chaturvedi, K. (2014) Web Based 3D Analysis and Visualization Using HTML5 and Web GL.
  - [22] 马小川, 乔卿丞. 处理 CentOS 7 启动错误[J]. 网络安全和信息化, 2020(10): 158-161.
  - [23] 冯锦强. 网络调查系统在教研活动中的应用——以“腾讯问卷”在信息技术学科教研活动中的应用为例[J]. 小学教学参考, 2020(9): 56-57.
  - [24] 陈良英. 基于属性加密的计算机数据库安全检测工具的设计与运用[J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39(4): 30-35.