

基于 Django 技术和 MVS 网络的无人机遥感数据 三维重建可视化平台设计

杨媛

(云南开放大学 传媒与信息工程学院, 昆明 650500)

摘要: 为了提升无人机遥感图像数据可视化效果, 设计基于 Django 框架技术的无人机遥感数据三维重建可视化平台; 基于 Django 技术, 搭建由浏览层、业务逻辑层与数据层构成的无人机遥感图像数据可视化平台框架; 平台硬件设计上, 设计 WEB 服务器搭载业务层的 view.py、GeoDjango 地理框架、URL 分析器以及 JBrowse, 在服务器中创新性地加设评估板用于监测主控制器芯片的工作程序, 保证数据可视化处理的运行效率, 并加装寄存器组作为外置存储器, 降低 GPU 内存占用量; 设计由 GPU、S 显卡、显示硬件构成的三维渲染引擎, 在 GPU 芯片顶点着色器上加装像素处理器, 利用帧缓冲和帧渲染提升三维渲染质量; 平台软件设计上, 利用 SQLite 数据库为数据编码; 利用最近邻域重采样算法对无人机遥感图像数据进行畸变改正; 基于摄影测量解析提取无人机遥感图像目标几何信息; 设计基于分组相关性等多尺度特征的 MVS 网络, 通过深度图估计, 实施无人机遥感图像的三维重建, 完成无人机遥感图像数据可视化平台的设计; 测试结果表明, 该平台在 3 个区域的 GPU 内存占用量均低于 5 000 MB, 整体深度图平滑度较高, 整体建模时间为 8 245 ms, 渲染时间为 5 067 ms, 具有较好的可视化效果。

关键词: Django 框架; WEB 服务器; 无人机遥感图像; 数据可视化平台

3D Reconstruction Visualization Platform for UAV Remote Sensing Data Based on Django Technology and MVS Network

YANG Yuan

(School of Media and Information Engineering, Yunnan Open University, Kunming 650500, China)

Abstract: In order to improve the visualization effect of drone remote sensing image data, a 3D reconstruction visualization platform for drone remote sensing data based on Django framework technology is designed. An unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing image data visualization platform framework based on Django technology is built, which consists of a browsing layer, a business logic layer, and a data layer. In terms of platform hardware design, the WEB server is equipped with the business layer's view.py, GeoDjango geographic framework, URL analyzer, and JBrowse. Add an evaluation board in the server to monitor the workflow of the main controller chip, and ensure the efficiency of data visualization processing. Register groups are also installed as external memory to reduce GPU memory usage; Design a 3D rendering engine consisting of GPU, S-graphics card, and display hardware, install pixel processors on GPU chip vertex shaders, and improve 3D rendering quality through frame buffering and frame rendering. In terms of platform software design, SQLite database is used for data encoding; Use the nearest neighbor resampling algorithm to correct distortion in UAV remote sensing image data; Extract target geometric information from UAV remote sensing images based on photogrammetric analysis. Design an MVS network based on group correlation and multi-scale features, implement 3D reconstruction of UAV remote sensing images through depth map estimation, and complete the design of an UAV remote sensing image data visualization platform. The test results show that the GPU memory usage of the platform in all three regions is less than 5 000 MB, the overall depth map smoothness is high, the overall modeling time is 8 245 ms, and the rendering time is 5 067 ms, which has a good visualization effect.

Keywords: Django framework; WEB server; UAV remote sensing images; data visualization platform

收稿日期: 2024-02-05; 修回日期: 2024-03-15。

基金项目: 2022 年云南省教育科学规划类研究基金 (BE22019)。

作者简介: 杨媛 (1981-), 女, 硕士, 副教授。

引用格式: 杨媛. 基于 Django 技术和 MVS 网络的无人机遥感数据三维重建可视化平台设计[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(2): 221-228.

0 引言

无人机技术以及导航定位等技术的不断发展^[1], 无人机早已由战争专用转变为各种新兴应用技术提供支持的角色, 其中最典型的就是地理信息技术。在地理信息领域, 通过无人机遥感技术能够获取地理环境与环境变化信息。随着地理信息科学及其相关产业的发展, 各国纷纷应用无人机遥感技术实施地理测绘, 并结合无人机遥感技术与近景摄影测量技术, 使无人机能够在 300 m 以内的低空中实现灵活观测。目前二者已经结合形成了新的无人机航摄测量方式。通过这种观测方式观测后, 需要通过无人机遥感图像数据可视化技术反应地物的真实表达, 这种技术与实物地貌相接近, 是一种三维建模技术^[2]。基于该背景对无人机遥感图像数据可视化平台进行研究。通过无人机遥感图像数据可视化平台, 能够在应用低空航摄测量技术的同时, 结合无人机搭载平台与遥感数据处理技术, 为工程项目提供高分辨、高质量的景观模型。

对于该问题的研究, 文献 [3] 中提出一种基于 Matlab/GUI 的无人机遥感图像分类系统, 该系统实现了遥感图像分类的可视化操作, 同时能够实现与其他软件之间的交互, 促进了公路地质选线中无人机遥感技术的应用。文献 [4] 中提出一种航空遥感信息大数据可视化云平台, 能够为政府部门及企业在国防安全、防灾减灾、灾害评估、粮食估产、城市建设、交通规划、水利建设、环境资源、国土调查等方面提供决策支持, 并为未来国内遥感信息化发展提供一定借鉴。文献 [5] 中提出一种遥感影像元数据多维可视化方法, 包括基于球极坐标与圆形平行坐标的多维可视化方法以及基于平行改进坐标的多维可视化方法, 并以 GeoGlobe 为数据载体与实验平台体现了上述方法。然而以上遥感图像数据可视化方法应用于面积较大区域的建模与可视化时, 往往存在内存占用较高、建模与渲染效率低等问题。

为克服上述研究中存在的问题, 降低内存占用, 提升渲染效率和平滑度, 设计一种基于 Django 框架的三层结构的无人机遥感图像数据可视化平台。创新性地基于 Django 技术, 搭建由浏览层、业务逻辑层与数据层构成的无人机遥感图像数据可视化平台框架。平台硬件设计上, 在服务器中创新性地加设评估板用于监测主控制器芯片的工作程序, 保证数据可视化处理的运行效率; 在 GPU 芯片顶点着色器上加装像素处理器, 利用帧缓冲和帧渲染提升三维渲染质量。平台软件设计上, 创新性地利用最近邻域重采样算法对无人机遥感图像数据进行畸变改正, 并利用摄影测量解析提取无人机遥感图像目标几何信息。设计基于分组相关性或多尺度特征的 MVS 网络, 通过深度图估计, 实现无人机遥感图像数

据的高效、高质量可视化处理。

1 无人机遥感图像数据三维重建可视化平台设计

1.1 基于 Django 的三维重建可视化平台框架设计

基于 Django 搭建网站的方式搭建无人机遥感图像数据可视化平台的框架。平台框架由浏览层、业务逻辑层与数据层构成。平台框架的具体结构如图 1 所示。

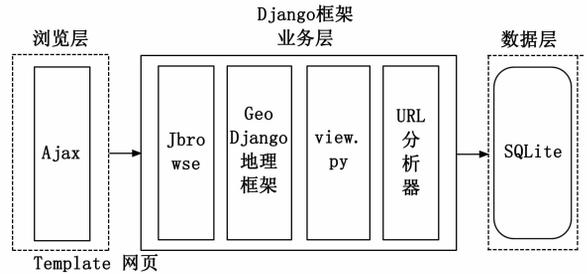


图 1 平台框架的具体结构

图 1 中的浏览层主要用于平台的信息数据交互与用户交互, 使研究人员拥有数据获取、数据搜索、数据分析的直观页面。该层能够实现用户请求的提交, 并向业务层递交^[6]。浏览层是 Django 框架的模版网页集, 能够存储关于网站前端的全部 HTML 代码, 主要通过 Ajax 技术对表现层上动态数据的呈现实时处理。利用 Ajax 技术在平台浏览层与业务逻辑层之间添加虚拟的中间层, 以实现业务逻辑层异步无刷新操作, 此时浏览层只需请求页面上需要更新的内容即可实现页面的局部刷新。相比传统 Web 应用, 这种技术能够节约网络传输带宽, 并带来更加友好的用户交互性。

业务逻辑层采用的关键技术是 Django 控制器 view.py 与 GeoDjango 地理框架, 结合了 JBrowse、URL 分析器等功能模块。业务逻辑层能够响应浏览层的请求, 并对数据层的数据进行调用。作为 Django 的控制器, view.py 集合了方法、函数的控制层, 能够连接 Django 的模版与 URL 分析器, 同时能够通过表单的方式连接数据库中的数据。采用的 Django 框架模型是 GeoDjango 地理框架, 作为联通数据库的渠道, 能够实现空间查询处理与地理空间矢量数据存储的功能扩展。URL 分析器是 Django 框架的一个核心组件, 在 URL 分析器中, 封装了与数据库操作相关的 API, 不需要添加原始的 SQL 语句即可实现数据库的操作。JBrowse 是一个由 HTML5 与 JavaScript 组合搭建而成的基因组浏览器, 将其嵌入至 Django 的控制器 view.py 中, 以获得更快响应的平台用户体验。

数据层主要用于接收和处理对于数据的请求, 以及响对于数据库的操作。处理完数据请求后, 数据层会将数据返回至业务逻辑层, 并最终呈现于浏览层^[7-9]。

在数据层中，基于 SQLite 技术建立嵌入式数据库，不需要依靠服务器与复杂的配置，具有良好的跨平台性能，对于 Django 框架友好。

1.2 可视化平台硬件设计

1.2.1 WEB 服务器设计

平台硬件方面设计一种 WEB 服务器，用于搭载业务层的 view.py、GeoDjango 地理框架、URL 分析器以及 JBrowse。WEB 服务器的设计具体如下：该服务器由以太网物理接口、以太网控制器模块、主控制器芯片等构成，具体结构如图 2 所示。

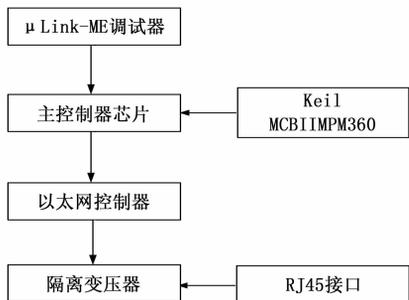


图 2 WEB 服务器结构

图 2 中，WEB 服务器中设计 Keil MCBT1MPM360 评估板用于监测主控制器芯片的工作程序，保证数据可视化处理的运行效率。

WEB 服务器选用的主控制器芯片型号为东芝 TPM364F10FG 微控制器。该芯片是一个基于 ARM Cortex-M3 的 32 位 MCU，芯片内集成了 64 kB SRAM、1 024 KB Flash ROM，有四路存储器控制器、120 个 GPIO 引脚等^[10]。为了解决无人机遥感图像数据内存占用较高的问题，创新性地为 TPM364F10FG 微控制器加装 R0-R14 的寄存器组作为其外置存储器，用于存储微控制器的程序数据，具体设置如表 1 所示。

表 1 寄存器组设置情况

寄存器名称	类型	用途
R0	通用寄存器	低寄存器
R1	通用寄存器	低寄存器
R2	通用寄存器	低寄存器
R3	通用寄存器	低寄存器
R4	通用寄存器	低寄存器
R5	通用寄存器	低寄存器
R6	通用寄存器	高寄存器
R7	通用寄存器	高寄存器
R8	通用寄存器	高寄存器
R9	通用寄存器	高寄存器
R10	通用寄存器	高寄存器
R11	主堆栈指针	MSP
R12	进堆栈指针	PSP
R13	连接寄存器	LR
R14	程序计数器	PC

WEB 服务器选用的以太网控制器型号为 DM9000A 网络控制器，支持 16 位与 8 位数据总线，集成了 10/100 M 自适应收发器，能够完成 10/100 M 以太网的自动配置。同时，该控制器还可以实现 IEEE 802.3x 全双工流量控制功能，能够避免流量阻塞问题，提升数据可视化处理和图像渲染效率。

设计 μLink-ME 调试器对 TPM364F10FG 微控制器进行程序调试^[11]。选用的网络隔离变压器型号为 WE4T34，能够实现网络隔离，并为其配置 RJ45 以太网接口。

1.2.2 数据交互通信服务器设计

设计一种数据交互通信服务器，用于搭载浏览层的 Ajax 框架技术与数据层的传输通信交互程序。该通信服务器的设计具体如下：共有 3 层结构，分别为通信层、前端、后端。

前端负责实现 MySQL 服务，具体功能包括其命令执行阶段与用户认证阶段，由 SQL 解析器、SQL 重构器、SQL 路由器构成，能够实现数据库的搭载；

后端负责与数据库实施交互，具体功能包括结果数据集的接收合并、命令的下发以及权限的认证，由 SQL 下发执行器与数据包提取器构成，能够实现 Ajax 的搭载。前端与后端相结合，能够实现接收数据包的处理、解析、封包与转发^[12]。

通信层由 DJTZ23-DXC 型号的 RS485 无线集中器、AMKN-4519 下位机构成，集中器负责集中数据，下位机负责接收数据。并在通信层配置一个通信协议，其基本格式如表 2 所示。

表 2 通信协议的基本格式

序号	字节	格式
1	1	SOI
2	2	VER
3	1	ADR
4	1	FRO
5	1	FRO
6	1	CID
7	1	CID
8	2	TO
9	LEND	TO
10	3	CID
11	1	CHKSUME

就此完成两种服务器的设计，实现平台框架搭载。

1.2.3 三维渲染引擎设计

设计一种三维渲染引擎，该引擎由 S 显卡、显示硬件、GPU 构成。其中 S 显卡选用的是 RTX3060s 显卡，选用的显示硬件为亮度为 500cd/m² 的利亚德 LED 高清彩色显示器。S 显卡、显示硬件为三维渲染提供了良好

的显示硬件基础。

三维渲染引擎的关键技术设计为顶点着色器、外围控制总线、高速缓冲控制器构成的 GPU 芯片。选用的高速缓冲控制器型号为 RGG45，选用的外围控制总线为 RS-232-C 总线。顶点着色器选用的型号为 WDFS-VGH3445，其运行流程具体如图 3 所示。

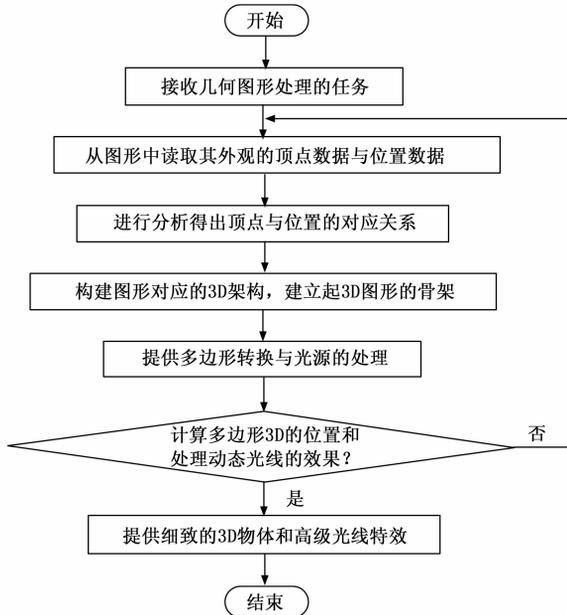


图 3 顶点着色器的运行流程

由于顶点着色器仅构建了 3D 物体轮廓，为了进一步增加三维渲染效果，在顶点着色器上创新性地加装型号为 GJIHG67 的像素处理器。通过像素处理器将 3D 图形上的线和点转换成相应的像素点，利用帧缓冲和帧渲染提升三维渲染质量。像素处理器处理像素的具体步骤包括光栅化处理、三角形设置、像素处理以及帧数据输出，具体处理技术内容如下：

1) 光栅化处理：将整个画面分为小块，分块实施渲染，使 H 角形场景成为像素图。

2) 三角形的设置：将三维图像建模成多个三角形，以确定三维图像在 3D 景物中的位置，并确定像素填充范围。

3) 像素处理：对像素实施计算和处理，确定各像素最终颜色属性。

4) 帧数据输出：通过光栅化引擎输出像素，完成帧渲染后，送至帧缓冲区，在显示硬件上产生要显示的图像。

由此完成可视化平台硬件优化设计，基于硬件设计，进行软件算法设计。

1.3 平台软件设计

1.3.1 基于 SQLite 数据库的无人机遥感图像数据编码技术

基于数据交互通信服务器硬件设计，在平台数据层

中，利用 SQLite 数据库技术为图像数据设计两种类别的编码表，第一种是空间数据库数据表，第二种是属性数据库数据表。其中属性数据库数据表具体包括数据属性表、数据信息表。以数据信息表为例展示数据编码设计内容，如表 3 所示。

表 3 数据编码信息表

序号	字段名称	字段长度	字段类型
1	Id	20	Integer
2	Data_id	25	Integer
3	Data_name	50	Character varying
4	Data_extent	50	Character varying
5	Data_size	50	Character varying
6	Data_time	20	Integer
7	Data_format	50	Character varying
8	Data_src	50	Character varying

空间数据库数据表具体包括线状数据表、面状数据表、点状数据表、栅格数据表、三维数据表。

1.3.2 基于最近邻域重采样算法的无人机遥感图像数据畸变改正技术

在平台业务层 JBrowse 中，基于上节数据库和硬件设计中的 WEB 服务器，利用最近邻域重采样算法对无人机遥感图像数据实施畸变改正预处理，精准获取目标的物理与几何信息，以提高图像数据的可视化平顺度。

对于相机本身的畸变，使用相机标定技术进行处理，即应用相机参数改正方法，以前期的相机检校参数为依据，通过像点坐标变换模型对采集的照片实施相机畸变改正^[13-15]。通过像点坐标变换模型对原始遥感影像上的真实像点坐标进行求取：

$$X = F_x(\alpha, \beta) \quad (1)$$

$$Y = F_y(\alpha, \beta) \quad (2)$$

式中，(X,Y) 是原始遥感影像上的像点坐标，(F_x,F_y) 为间接校正中的坐标变换函数，(α,β) 为校正后的影像上的像点坐标。由此完成相机本身坐标畸变校正。

对于无人机影像产生的畸变，使用灰度值重采样算法进行几何纠正处理，基于相机校正后的遥感影像上的像点坐标，将 (X,Y) 处的灰度值赋给 (α,β)，实施最近邻域重采样。将重采样点 Q 的灰度值作为其周围四点中与其距离最近那个像元的灰度值，具体如下式：

$$G_Q(x_Q, y_Q) = G_N(x_N, y_N)(X, Y) \quad (3)$$

式中，G_Q(x_Q, y_Q) 为重采样点 Q 的灰度值取值，G_N(x_N, y_N) 为与 Q 距离最近像元的对应灰度值，(x_Q, y_Q) 是 G_Q(x_Q, y_Q) 的灰度坐标值，(x_N, y_N) 是 G_N(x_N, y_N) 的灰度坐标值^[16]。其中：

$$\begin{cases} x_N = \sum (x_Q + 0.5) \\ y_N = \sum (y_Q + 0.5) \end{cases} \quad (4)$$

通过以上算法技术对原始输入图像实施重采样后, 获取消除几何变形的无人机遥感图像。

1.3.3 基于摄影测量解析的无人机遥感图像目标几何信息提取

基于消除畸变处理的无人机遥感图像, 通过摄影测量解析实施测区内的空中三角测量, 从而确定无人机遥感图像的外方位元素, 基于平差解算矩阵提取图像三维目标的几何信息。

使用光束法空中三角测量技术进行摄影测量解析, 具体技术步骤如下:

1) 使用连续法实施立体模型相对的相对定向处理, 恢复摄影时立体模型的 2 张像片之间相对位置关系的恢复

2) 实施相对定向处理后, 并未恢复立体模型与地面之间的绝对位置关系, 此时该模型点的坐标仍然是像空间辅助坐标系。为将其转换至地面坐标, 需要基于平差解算矩阵对三维坐标实施绝对定向处理:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \chi \cdot \delta \begin{bmatrix} L \\ K \\ J \end{bmatrix} + G_Q(x_Q, y_Q) \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, (X', Y', Z') 为地面参考空间坐标系内模型点的坐标, (X_A, Y_A, Z_A) 为模型平移量, (L, K, J) 为图像空间辅助坐标系内模型点的坐标, δ 代表旋转矩阵, χ 表示模型缩放平移量^[17-18]。

3) 通过相对定向与绝对定向的方法能够解求出像点的物方三维坐标, 即为提取的无人机遥感图像立体目标几何信息。本文采用了一些现有方法, 缺乏实质改进和创新, 也没有给出 MVS 3D 卷积网络的结构和参数。

1.3.4 基于改进 MVS 3D 卷积网络的无人机遥感数据三维重建可视化关键技术

在可视化平台业务层的无人机遥感图像三维重建模块 view.py 中, 基于 WEB 服务器和三维渲染引擎, 通过无人机遥感图像三维重建技术将上节提取的目标几何信息转化为三维点云数据, 实现无人机遥感图像数据可视化。使用的三维重建关键技术为创新性地设计基于分组相关性与多尺度特征的 MVS 3D 卷积网络。改进后的 MVS 3D 卷积网络通过由粗糙至精细的深度估计与特征分组减少了深度通道与特征通道的数量, 从而降低了网络参数的数量。同时结合空间位置信息与特征点的分布提出鲁棒的视角选择方法, 针对深度图中存在的遮挡问题, 还提出了改进的深度图像融合算法。

本文创新设计的改进 MVS 3D 卷积网络算法是在现有 MVS 卷积网络的基础上在 CasMVSNet 中加入分组相关性, 对不同尺度特征图的对应特征通道数实施统一压缩处理, 共压缩为 8 个通道, 以降低一般 MVS 卷积网络的参数数量, 提升处理速度。

设计的 MVS 网络的输入为上节提取的目标物理与几何信息。通过 2D 卷积网络对输入实施特征图提取。采用由粗糙至精细的方式实施深度图的估计。通过运动恢复结构部分实施特征图相机位姿的坐标系转换。在统一深度值的情况下, 应用单应变换矩阵对第 i 个参考图像到目标图像之间的特征图变换关系进行表示, 具体如下:

$$\varphi_i(\omega) = X' \varepsilon_i \cdot Y' \varphi_i \cdot Z' \left[O - \frac{(T_1 - T_i) \cdot m'_i}{\omega} \right] \varphi'_i \cdot \varepsilon_i^{-1} \quad (6)$$

式中, ε_i 为参考图像的相机内参矩阵, φ_i 为其旋转矩阵, O 为参考图像, T_i 为参考图像的平移矩阵, T_1 为目标图像的平移矩阵, ω 代表统一深度值, m'_i 表示目标图像相机的主轴, ε_i^{-1} 为目标图像的相机内参矩阵, φ'_i 为目标图像的旋转矩阵^[19]。

通过分组相关性计算获得代价立方体, 其大小如下式:

$$\gamma = \varphi_i(\omega) \eta \times \frac{c}{4} \times \frac{\kappa}{4} \times \lambda \quad (7)$$

式中, γ 为代价立方体的大小, η 为分组数, c 为原始图像的高度, λ 为深度值的数量, κ 表示原始图像的宽度。完成代价立方体的计算后, 需要使用正则化网络实施正则化处理。正则化处理后代价立方体的大小仍为 γ 。

为方便计算深度图, 创新性地对得到的代价立方体进行转换, 使其成为概率立体模型。通过一个输出通道数为 1、输入通道数为 η 的 3D 卷积实现该转换。沿深度方向对期望值进行计算, 实现深度估计, 具体公式如下:

$$C = \sum_{\omega=1}^{\omega_{\max}} \mu_{\omega} \times \nu_{\gamma} \times \gamma \quad (8)$$

式中, ω_{\max} 为深度值最大值, ν_{γ} 为大小为 γ 的概率立方体, ω_{\min} 为深度值最小值, μ_{ω} 代表深度值为 ω 时全部像素点的对应概率评估结果。

根据上述步骤, 以低分辨率的特征图为依据估计出了粗糙的深度图和分辨率较低的概率立方体, 接着通过估计结果计算不确定性, 以引导构建高分辨率代价立方体。其中不确定性的描述通过概率分布的方差来实现。概率分布方差是一种度量随机变量离其均值的偏离程度的指标。通过计算方差, 可以清楚地了解随机变量可能呈现出的不确定性情况以及其离均值的距离, 能够量化和比较不同随机变量或不确定性情况的大小。概率分布方差的大小反映了随机变量测量结果与其均值之间的差异程度。基于差异程度确定图像深度值新的变化范围, 使用一个更小的深度采样数值对确定的深度值新变化范围实施深度采样, 以构建一个深度通道数更小、分辨率更高的代价立方体, 并对其实施正则化处理以计算获得

分辨率更高的概率立方体。

在网络的训练中，将监督信息定为真实的深度值。由于 MVS 3D 卷积网络中共含有 3 个阶段，因此能够预测到不同尺度的 3 个深度图，对应三维立体坐标。将真实的深度图用 W 来表示，预测的不同尺度的 3 个深度图分别用 \hat{W}_1 、 \hat{W}_2 、 \hat{W}_3 来表示，则可以用下式表示网络的损失函数：

$$L = C \sum_{p=1}^2 \vartheta_p I(W, \hat{W}_p) \quad (9)$$

式中， p 表示深度图的数量； ϑ_p 代表控制第 p 个阶段预测得到的深度图的对应误差权重； $I(\cdot)$ 为平均绝对差^[20]函数。提出的鲁棒的视角选择技术具体如下：对于目标图像与其他图像，综合空间信息与视觉信息分别计算一个得分，选择与目标图像得分最接近的 M 张图像作为参考图像。设计的三维重建可视化函数具体如下：

$$F_s = L\omega F_{vis} + (1 - \omega)F_{geo} \quad (10)$$

式中， ω 为控制权重； F_{vis} 为依赖视觉信息获得的得分； F_{geo} 为依赖空间信息获得的得分； F_s 为图像得分。

按照以上步骤，实施遥感图像的三维投影即可获得无人机遥感图像数据的三维重建结果，实现无人机遥感图像数据可视化。

2 平台性能测试

2.1 实验数据集获取与实验过程

对设计的基于 Django 框架的无人机遥感数据三维重建可视化平台在实际应用中的表现性能进行测试。在测试中，以某地区为研究区，利用平台实现研究区无人机遥感图像的三维数据可视化展示，以测试设计平台的表现性能。

研究区为某河流域，地势总体上西高东低，河水整体流向为自西向东，其中一部分干流流向东南。研究区中部是丘陵地区，地形整体坡度较缓；南部与北部均为平原区，地形比较平坦，其中南部地区地形更低。整体来说，研究区地貌为丘陵性湖沼平原，以垄岗为主体。该地区地质特征较为复杂，上游以岩浆岩、变质岩为主，中下游河谷分布于松散的沉积物与沉积岩层之中。

利用无人机采集研究区遥感图像，通过设计平台展示其三维地形。利用无人机航空摄影测量技术实施测区影像数据采集时，航路规划是一个重要环节。采用复折线法确定拍摄航线，以保障拍摄的遥感图像有一定重叠，确保航拍资料的完整性。

实验中，航飞使用的是四旋翼无人机，型号为 DJI Mavci Pro 2，其航摄影像分辨率可达 0.05 m，飞行高度可达 120 m，旁向与航向重叠度为 80%。该无人机飞

行场景如图 4 所示。



图 4 无人机飞行场景

利用其拍摄研究区域，获取倾斜摄影数据，部分采集图像实例如图 5 所示。



图 5 采集图像实例

根据测试实际情况确定遥感图像拍摄的区域平均海拔、最低点、最高点，从而确定满足实际需要的飞行高度，规划无人机飞行航线，采集所需数据。

在测试中航飞仅飞行一个架次，共获取 565 张照片，作为采集的实验数据集。对于采集的实验数据集，将其导入设计平台中，首先利用无人机遥感图像数据预处理模块对其实施畸变差改正、摄影测量解析处理。其中实施畸变差改正前后的对比如图 6 所示。



图 6 实施畸变差改正前后的对比

并使用光束法空中三角测量方法实施测区内的空中三角测量，获得精确的外方位元素数据，其中中游地区的外方位元素数据具体如表 4 所示。

表 4 中游地区的外方位元素数据

片号	航偏角 / (°)	俯仰角 / (°)	侧滚角 / (°)	航高 / m	经度 / (°)	纬度 / (°)
22	152.36	0.365 2	1.526 9	110.36	118.554 3	31.626 5
23	154.20	0.852 5	0.326 5	110.85	118.552 5	31.621 5
24	156.30	0.632 5	0.634 5	110.45	118.553 0	31.623 5
25	155.20	0.324 1	0.415 2	110.30	118.554 7	31.624 6
26	152.96	0.265 2	1.305 8	110.85	118.556 9	31.622 8
27	152.52	0.195 2	1.021 2	110.92	118.555 7	31.623 0
28	153.65	0.236 5	1.125 8	110.42	118.559 8	31.620 1
29	154.02	0.124 8	0.765 8	110.02	118.554 5	31.622 0
30	153.85	0.652 7	0.632 5	110.39	118.556 9	31.621 5
31	153.21	0.254 1	0.625 1	110.54	118.558 5	31.627 8
32	154.51	0.355 8	0.125 4	110.86	118.551 5	31.629 2

基于获取的目标物理与几何信息实施研究区遥感图像的三维重建。通过基于分组相关性与多尺度特征的 MVS 网络实施三维重建，实现研究区遥感图像的初步可视化处理。

在该步骤中，将参考图像数量统一设置为 2。并使用设计的三维渲染引擎实施三维重建结果的渲染处理，实现测区无人机遥感图像数据的可视化显示，具体如图 7 所示。



图 7 测区无人机遥感图像数据的可视化显示

就此利用设计平台完成测区的三维可视化显示。

2.2 测试项目与测试方法选择

依据测区的三维可视化显示过程分别对设计方法的 GPU 内存占用、深度图平滑度、建模与渲染时间进行测试。设计改进 MVS 3D 卷积网络的结构设置：网络结构分为输入层、卷积层、池化层、批归一化层 4 个层次。其中，卷积层的卷积核选择 5×5×5。激活函数使用 ReLU 函数。改进 MVS 3D 卷积网络的参数设置：学习率：0.001；训练迭代次数：1 000 次；参数批大小：32；正则化参数：Dropout L2；特征通道数量：8 个。

在测试中，将基于 MATLAB/GUI 的无人机遥感图像分类系统、航空遥感信息大数据可视化云平台以及

遥感影像元数据多维可视化方法作为对比方法，并分别用方法 1、方法 2、方法 3 来表示，以获取对比测试结果。

2.3 测试结果分析

2.3.1 GPU 内存占用情况分析

设计方法与方法 1、方法 2、方法 3 可视化处理中的 GPU 内存占用情况如图 8 所示。

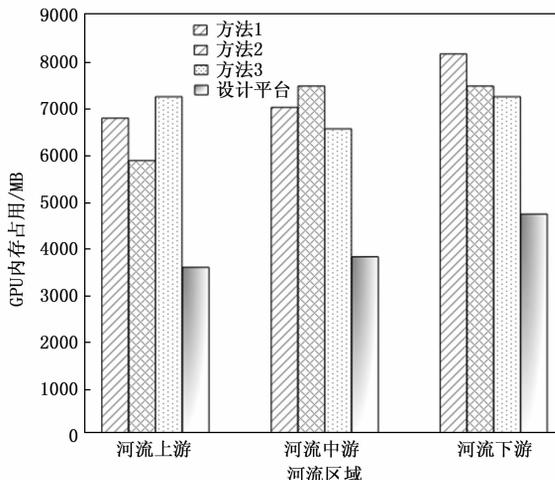


图 8 GPU 内存占用情况

根据图 6 测试结果，设计平台在 3 个区域中下游的 GPU 内存占用最高，这是由于下游区域的建模比较复杂。整体来说，设计平台在 3 个区域的 GPU 内存占用量均低于 5 000 MB，在 4 种实验方法中是最低的，说明设计平台在三维可视化中的 GPU 内存占用较低，无人机遥感图像数据可视化性能较高。

2.3.2 深度图平滑度分析

4 种测试方法的深度图平滑度测试结果如图 9 所示。

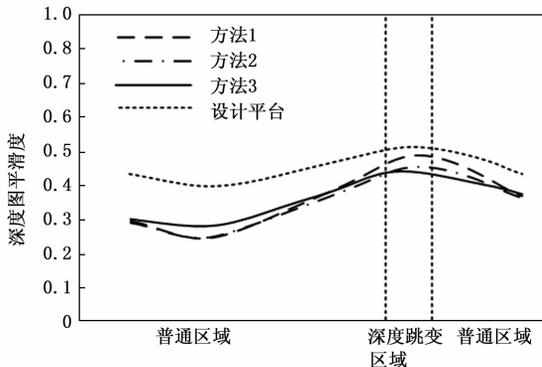


图 9 4 种测试方法的深度图平滑度测试结果

图 9 表明，在 4 种测试方法中，设计平台整体深度图平滑度最高，3 种对比方法的整体深度图平滑度均低于设计方法。同时在深度跳变区域，同样是设计平台的

深度图平滑度最高,且设计平台的深度图平滑度差值最低,表明其拥有良好的深度估计准确度。

2.3.3 建模与渲染时间分析

4 种方法的建模与渲染时间测试结果如表 5 所示。

表 5 4 种方法的建模与渲染时间测试结果

河流区域	建模时间/ms				渲染时间/ms			
	设计平台	方法 1	方法 2	方法 3	设计平台	方法 1	方法 2	方法 3
河流上游	25	39	38	35	15	19	17	18
	63	62	62	21	20	85	85	51
河流中游	27	37	42	37	16	21	18	19
	52	51	05	58	95	57	96	95
河流下游	29	39	43	39	18	23	21	22
	30	20	69	20	52	62	36	58

根据表 5 的测试结果,设计平台整体建模时间为 8 245 ms,渲染时间为 5 067 ms,与对比方法相比,设计平台的整体建模时间与渲染时间最短,说明设计平台的可视化效率最高。

3 结束语

当前,很多国家都对无人机航摄技术的研究非常重视,不仅是由于无人机机器成本花费越来越低以及相关装备越来越精良,更是由于世界各国之间的学术与技术合作已经取得了巨大突破。因此现在越来越需要三维可视化技术来替代二维图谱,实现采集影像航片的三维原景重现。设计一种基于 Django 框架的无人机遥感数据三维重建可视化平台,基于 Django 框架搭建了三层结构的无人机遥感图像数据可视化平台框架,并基于该框架分别设计了平台的硬件部分与软件部分,实现了高效、低内存占用的遥感数据可视化处理过程与良好的遥感数据可视化效果,对于各领域遥感数据处理与三维展示方面的研究有着积极的启发意义。在研究中,由于研究时间与研究精力均不足,研究结果存在一定细节层面的疏忽,将在日后细化研究结果,继续进行更加深入的研究,同时对研究结果进行拓展。

参考文献:

[1] 徐志扬,刘浩栋,陈永富,等.基于无人机 LiDAR 的杉木树冠上部外轮廓模拟与可视化研究[J].林业科学研究,2021,34(4):40-48.

[2] 杨鑫,唐庄生,鱼小军,等.近二十年中外文草地遥感研究热点及前沿演进——基于 CiteSpace 的数据可视化分析[J].草地学报,2021,29(6):1136-1147.

[3] 白俊龙,王章琼,张明,等.基于 Matlab/GUI 的无人机遥感图像分类系统设计[J].武汉工程大学学报,2021,43(2):217-222.

[4] 支仁泽,汪弘,乔宇.航空遥感信息大数据可视化云

平台设计研究[J].信息与电脑,2021,33(17):136-138.

[5] 熊立伟,吴湘滨,谭红伟.遥感影像元数据多维可视化方法的设计与实现[J].遥感信息,2016,31(2):60-63.

[6] 张昭臣,胡健波,杨庆松,等.中国亚热带 4 个森林动态监测样地无人机可见光遥感影像数据集[J].生物多样性,2021,29(9):1181-1185.

[7] 孙晓宇,蔡祥.基于多通道数据融合的无人机遥感影像地物目标提取方法[J].地理与地理信息科学,2021,37(6):41-45.

[8] 白俊龙,王章琼,闫海涛.K-means 聚类引导的无人机遥感图像阈值分类方法[J].国土资源遥感,2021,33(3):114-120.

[9] 王鑫梅,张劲松,孟平,等.基于无人机遥感影像的核桃冠层氮素含量估算[J].农业机械学报,2021,52(2):178-187.

[10] 余帅,汪西莉.含多级通道注意力机制的 CGAN 遥感图像建筑物分割[J].中国图象图形学报,2021,26(3):686-699.

[11] 王慧赢,王春平,付强,等.面向嵌入式平台的轻量级光学遥感图像舰船检测[J].光学学报,2023,43(12):121-134.

[12] 李阳阳,毛鹤亭,张小龙,等.利用非局部上下文信息的遥感图像小目标检测[J].西安电子科技大学学报,2022,49(5):117-124.

[13] 高岩,邢汉发,张焕雪.夜光遥感与 POI 数据耦合关系中的城市空间结构分析——以深圳市为例[J].桂林理工大学学报,2022,42(1):122-130.

[14] 程琳琳,王振威,柳亚彤,等.基于改进的遥感生态指数的北京市门头沟区生态环境质量评价[J].生态学杂志,2021,40(4):1177-1185.

[15] 陈燕,张权.畸变光场图像矫正方法的设计与仿真[J].计算机仿真,2022,39(8):186-189.

[16] 周国华,蒋晖,顾晓清,等.基于半监督子空间迁移的稀疏表示遥感图像场景分类方法[J].浙江大学学报(理学版),2021,48(6):684-693.

[17] 杨彬,郭金源,何鹏,等.面向 HY-1C 卫星 CZI 陆地遥感图像的云检测方法研究[J].遥感学报,2023,27(1):55-67.

[18] 杜艳玲,徐鑫,王丽丽,等.改进无锚点的彩色遥感图像任意方向飞机目标检测算法[J].液晶与显示,2023,38(3):409-417.

[19] 姚力波,张筱晗,吕亚飞,等.FGSC-23:面向深度学习精细识别的高分辨率光学遥感图像舰船目标数据集[J].中国图象图形学报,2021,26(10):2337-2345.

[20] 李发森,李显巨,陈伟涛,等.基于深度特征的双极化 SAR 遥感图像岩性自动分类[J].地球科学,2022,47(11):4267-4279.