三维辐射传输模型
RAPID-RTX 用户手册

张壮壮 编写

2026 年 8 月

目录

序言

目录

第 1 章 遥感三维辐射传输模型 RAPID-RTX

1.1 RAPID-RTX 简介

第 2 章 RAPID-RTX 基础操作

2.1 界面布局

2.2 菜单栏

2.3 视口操作

2.4 主工具栏

第 3 章 RAPID-RTX 工作流程

3.1 新建项目

3.2 场景构建

3.2.1 场景几何对象构建

3.2.2 场景光谱属性构建

3.3 数据模拟实践练习

3.3.1 多光谱相机模拟

3.3.2 激光雷达模拟

3.3.3 星载大光斑波形模拟

第 4 章 实用工具

4.1 AI 工具

4.2 Script Editor 脚本编辑和运行

第 1 章 RAPID-RTX 简介

1.1 RAPID-RTX 简介

RAPID-RTX 是一个基于 Isaac Sim 的高性能三维辐射传输模型 (RTM) 仿真平台。它利用 RTX 和 OpenUSD 技术，继承并发展了之前的 RAPID (Radiosity Applicable to Porous IndiviDual Objects) 框架。RAPID-RTX 使用 Python 和 C++ 开发，能够在大型、复杂的三维环境中模拟各种遥感数据集和高保真图像。

注意事项如下：

- **Conventions**：RAPID-RTX 默认采用右手坐标系（+Z 轴为 up 轴），且单位尺度（Meters per Unit）为 1m（即 1 单位 = 1 米）。此项设置直接关系风力场、传感器等基于米制单位的仿真计算，请勿更改。

RAPID-RTX 目前基于 Isaac Sim 5.1 (Kit 107.1)进行开发。RAPID-RTX 详细的操作教学视频请点击蓝色字体：视频教程

第 2 章 RAPID-RTX 基础操作

2.1 界面布局

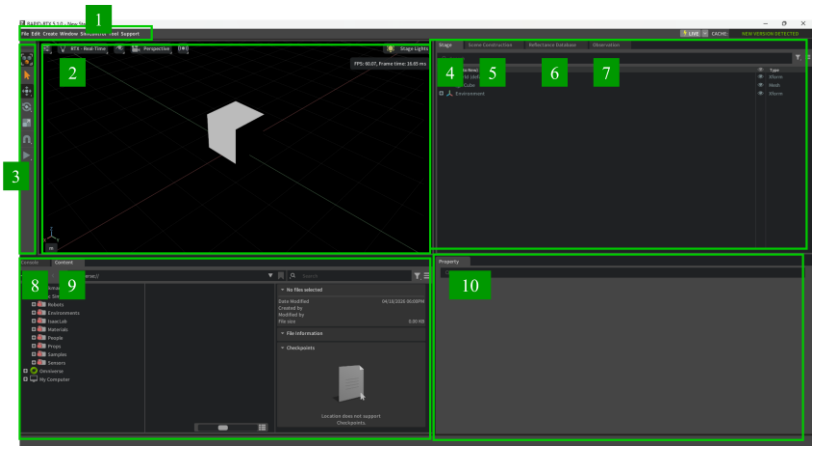

图 2-1 RAPID-RT 界面布局

Ref	Option	Result
1	Menu Bar	RAPID-RTX 菜单栏
2	Viewport	查看场景可视化和控制资源的主要方式。
3	Main Toolbar	用于操作资源的工具栏和开始/停止模拟按钮位于此处。
4	stage	“舞台”窗口允许您查看当前 USD 场景中的所有资源。
5	Scene Construction	场景光照、模型引入和分布操作的几何建立。

6	Reflectance Database	引入反射率数据。
7	Observation	传感器选择、创建和观测几何的设定。
8	Console	显示日志信息、调试输出和错误报告
9	Content	浏览资源和示例的默认位置。
10	Property	显示所选图元(prim)详细信息的窗口。

2.2 菜单栏

表 1 菜单栏内容

Ref	Option	Result
1	File	打开，新建文件和项目
2	Edit	撤销，复制，隐藏等操作
3	Create	用于创建各种基本体和其他模拟对象的菜单，包含示例场景和传感器的创建。
4	Window	打开已加载扩展程序的各种窗口，在本例中，这些扩展程序包括构成图形用户界面和其他扩展程序的窗口。
5	SimContol	打开遥感模拟相关窗口，模拟启动功能
6	Tool	工具栏，打开结果文件夹，计算 LAI 等功能。
7	Support	用户手册、网站、关于。

2.2.1 File

文件的导入导出等操作。

- 【open】打开文件选择窗口，选中文件中点击窗口右下角的【open file】打开文件。
- 【save】保存当前场景数据。
- 【new】新建一个场景。
- 【new project】新建一个 RAPID-RTX 项目文件，并打开一个基础场景。
- 【add reference】导入文件。add reference 方式会建立与源文件的动态链接，源文件更新，当前场景中的内容会自动同步。非破坏性修改，**优选的导入方式**。
- 【add payload】导入文件。与 Reference 完全相同，但其加载是可选且延迟的适用于管理大场景，能优化性能和内存。
- 【import】导入文件。几何数据直接复制并嵌入到当前 USD 场景中，与源文件脱离关系。导入非 usd 格式文件时会在同目录下自动生成一个源文件的 usd 格式文件。
- 【export】导出为非 usd 格式的文件。
- 【collect and save as…】打包当前场景中所有的数据到一个文件夹中，不希望因为源文件修改或移动造成场景变化时可选择。

2.2.2 Edit

常用的场景元素增删改等操作。

- 【undo & redo & repeat】撤销、重做和重复。可通过快捷键操作。
- 【instance】以实例化的方式进行复制，不重复占用内存，适合大场景。
- 【duplicate】复制操作。
- 【capture screenshot】截图操作。在控制台黄色 log 中看到保存位置。
- 【preferences】首选项。程序的默认设定选项。

2.2.3 Create

创建元素的操作，在视口和【stage】面板上鼠标右键也可唤出【create】操作

- 【mesh】创建基础网格类型，显式几何，如正方体，圆柱体，圆环等。
- 【shape】创建基础网格类型，隐式几何，如正方体，圆柱体，圆环等。
- 【lights】创建光照。太阳光和天空光。
- 【example scene】示例场景，包含三个静态场景和一个风场景。注：风场景是 speedtree 软件导出的风动画，点击工具栏播放按钮开始动，非风力场模拟。

2.2.4 Window

控制程序独立面板的开启和关闭

- 【Script Editor】测试 python 脚本代码的快速入口。可将【Tool】->【open custom script folder】中的代码复制粘贴到此处使用。
- 【extension】扩展管理，新建、启动和关闭扩展。

2.2.5 SimContol

控制模拟的开始、结束和模拟窗口控制。

- 【reflectance database & scene construction & obsevation】模拟窗口的开启和扩展。
- 【start】开始光学模拟。
- 【startLiDAR】开始激光雷达模拟。

2.2.6 Tool

实用工具

- 【open result folder】打开结果文件夹。
- 【open custom script folder】开始自定义 python 脚本文件夹。
- 【image data viewer】开始自定义 python 脚本文件夹。
- 【pointcloud data viewer r】开始自定义 python 脚本文件夹。

2.3 视口操作

需要切换到英文键盘

Input	Result
RMB + W	Move Forward
RMB + S	Move Backward
RMB + A	Move Left
RMB + D	Move Right
RMB + Q	Move Up

RMB + E	Move Down
LMB	Select
ESCAPE	Deselect
Select + ‘F’	Zoom Camera to Selected Objects
Deselect + ‘F’	Zoom Camera to All
Opt + LMB	Orbit about the Viewport Center
MMB (Hold)	Pan
RMB (Hold)	Pivot Camera
RMB (Click)	Invoke Contextual Menus
Shift + H	Show / Hide Grid and HUD information
F7	Enables and disables the visibility of the UI
F11	Toggles full screen mode
F10	Capture Screen Shot

2.4 外部数据导入

2.4.1 模型数据导入

本节介绍如何将外部 3D 模型文件导入 RAPID-RTX 并转换为 USD 格式，这是构建辐射传输模拟场景的基础操作。RAPID-RTX 支持导入多种主流 3D 文件格式如.obj、.fbx、.ply、.stl、.3ds 等，更多格式可通过导入窗口的下拉菜单查看完整列表。

(1) 导入操作步骤

1. 点击菜单栏 File → Import，打开导入窗口。
2. 浏览并选择需要导入的模型文件。
3. 点击 Import 按钮执行导入。

(2) 导入结果与注意事项

导入完成后，生成的.usd 文件默认保存在与原模型文件相同的目录下，并自动以 Reference 方式加载到当前 Stage 中。导入时，系统会自动将原模型的单位与轴向适配到当前 Stage（如 cm → m，Y-up → Z-up）。

需要特别注意：

- 这个单位与轴向的转换是在 Stage 的 Reference 引用层级上完成的，生成的.usd 文件本身仍保留原始单位与轴向。因此，请勿删除原始模型文件，否则 Stage 中的引用将丢失。
- 系统在导入时会自动完成单位与轴向适配，通常情况下无需手动调整。

(3) 手动修改单位、轴向和大小

若导入后单位或轴向不符合预期，可选择手动调整以避免自动单位变换在场景中产生额外的变换节点。操作步骤如下：

1. 打开转换后的 .usd 文件。
2. 在 stage 下点击模型的顶级 xform 类型的元素，下方 property 显示了具体属

性，找到 scale 属性，控制模型的 xyz 三个轴的尺寸变换。

3. 点击菜单栏 Window -> Layer 打开 Layer 窗口，选中 Root Layer。

4. 在下方 Property 窗口的 Layer Metadata 区域中，进行以下设置：

World Axis：设置为 Z（Z 轴向上）。

Meters Per Unit：设置为 1（1 单位 = 1 米）。

2.4.2 光谱数据导入

在【Reflectance Database】窗口下，点击【From Database】打开光谱库窗口，点击【Import】按钮，导入自己的 csv 文件。

光谱数据以 CSV 文件格式导入，用于定义材质在不同波长下的光学属性。文件格式要求如下：

- 第一行：列名称，必须包含以下三列：
  - name：材质名称（供识别引用，不参与计算）
  - ref：反射率（取值范围 0~1）
  - tra：透射率（取值范围 0~1）
- 从第二行开始：数据行，第一列为波长（单位：nm），第二列为对应的反射率，第三列为对应的透射率。

Csv 文件示例：

wavelength(nm)	ref	tra
350	0.06186	0
351	0.06026	0
352	0.05827	0
353	0.05718	0

反射率与透射率的取值应介于 0 到 1 之间，分别表示该波长下材料对入射光的反射与透射比例。更多的参考光谱数据 csv 文件见.\extsRAPID-RTX\rapid.ReflectanceDatabase\data\spectra_database

2.5 基础操作

更过基础操作请查看 isaacsim/omniverse 平台的官网，GUI Reference — Isaac Sim Documentation；

第 3 章 RAPID-RTX 工作流程

3.1 新建项目

■ 新建项目

打开 RAPID-RTX 主程序(如图 2-1),然后新建一个模拟工程【File】->

【New Project】，在新窗口【Select Directory】窗口中，点击选中/新建一个项目根目录文件夹，在【File name】中输入新项目的名字。若项目新建成功，viewports 视口界面将更新。

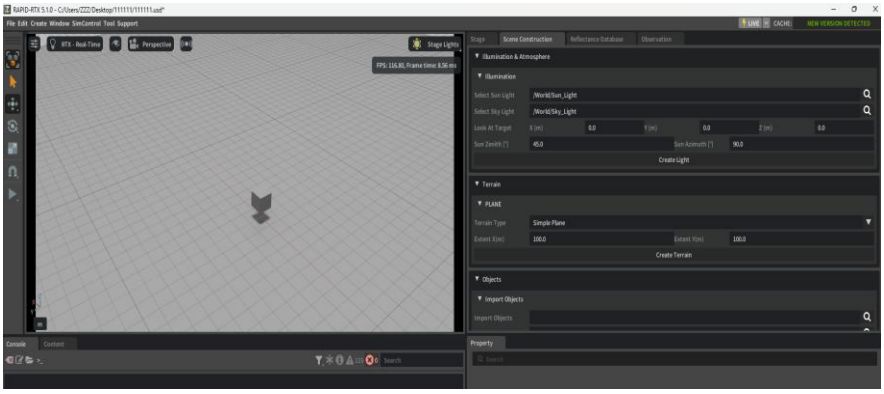

图 3-1 RAPID-RTX 主程序窗口

■ 项目结构

- 【File name】.usd 是场景文件，是项目的入口。
- Result 存储模拟结果文件
- Parameters 模拟参数文件
- Intermediate_data 用于保留的中间缓存数据。

3.2 场景构建

3.2.1 场景几何对象构建

■ 光照设定

点击主界面的右上处的【Scene Construction】面板，在【Illumination & Atmosphere】中点击【Select Sun Light】和【Select Sky Light】栏右侧的放大镜图标选择/设定场景的光照路径，一般使用默认光照路径，然后设定太阳天顶角【Sun Zenith】和方位角【Sun Azimuth】，设定天空散射光能量与总入射光能量之比【Sky Diffuse Fraction】,【Solar Energy Scale】用于控制总入射光能量尺度，也用于控制三维场景亮度。点击【Create Light】按钮创建光照。

■ 基础地形设定

点击主界面的右上处的【Scene Construction】面板，在【Terrain Type】下拉框中选择地面类型,比如 Simple Plane，指定地面范围【Extent】，新建项目默认存在一个简单平面地形，点击【Create Terrain】可以创建新地形。

■ 导入基础模型文件

点击【Import Objects】栏右侧的放大镜图标，在打开的 Select USD Asset 对话框(如图 2-2)中点击需要导入的基本模型 (如 American_Beech，默认打开树木模型的基础数据库)，也可以导入自己的 usd 或者其他格式的模型文件，详细见 3.3，然后点击右下角的【Import】导入模型到场景中。

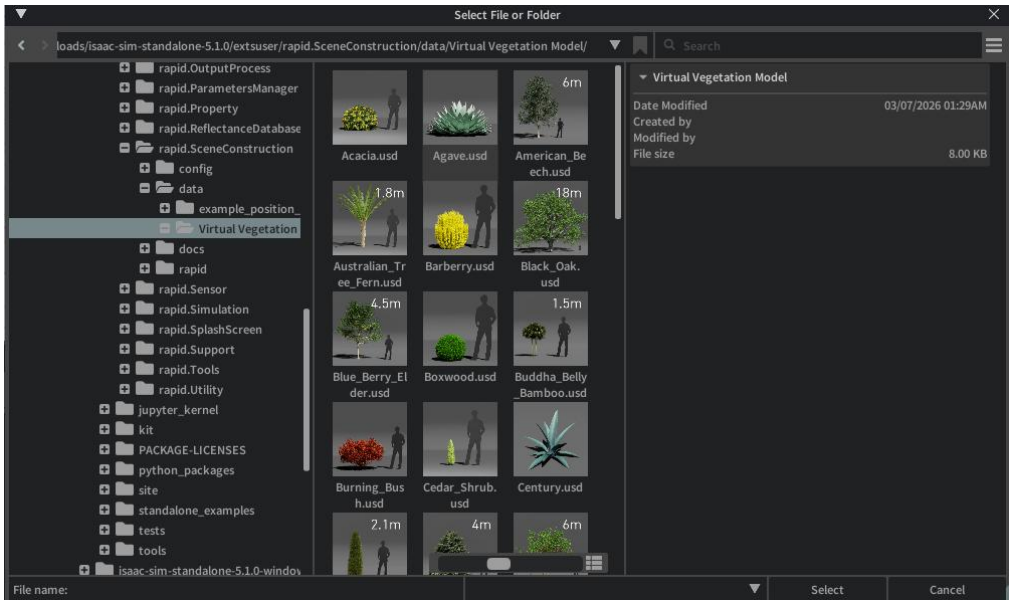

图 3-2 模型文件选择窗口

点击【Select Prim】栏右侧的放大镜图标，在打开的 Pick a Prim 对话框中选择进行后续进行位置分布操作的模型的路径，注意，请先打开 stage 面板查看引入的模型文件，选择带有引入图标的 xform 类型，而不是 mesh 类型。(如 /World/American_Beech，图 2-3)。

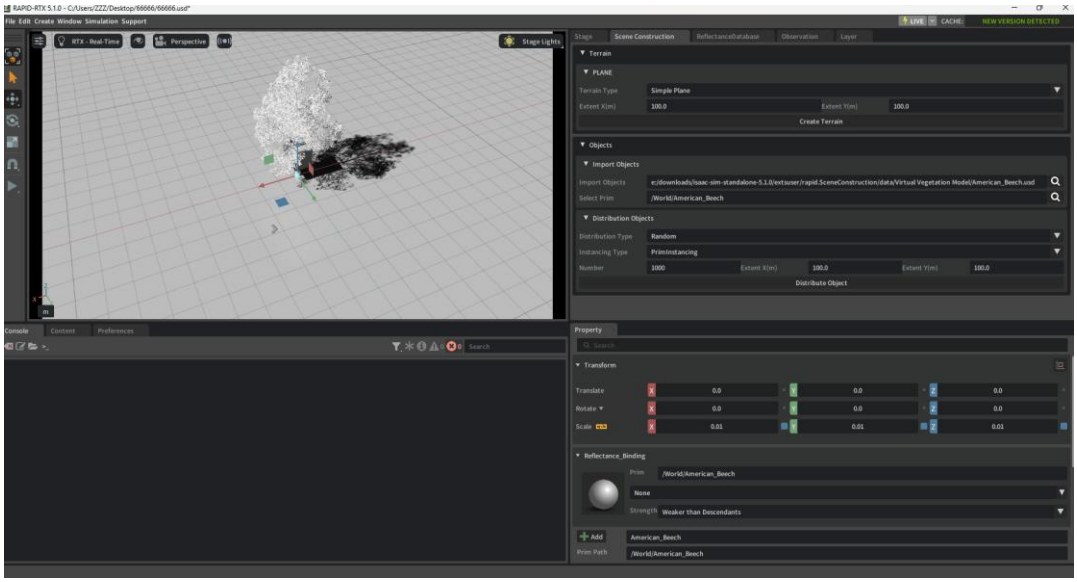

图 3-3 American_Beech 模型

■ 树木位置生成

点击【Distribution Type】和【Instancing Type】下拉框中选择地面类型 (比如 Random)和实例化方式(默认 PrimInstancing)，后续输入分布数量【Number】和分布范围【Extent】，点击【Distribute Object】开始在场景中分布模型。

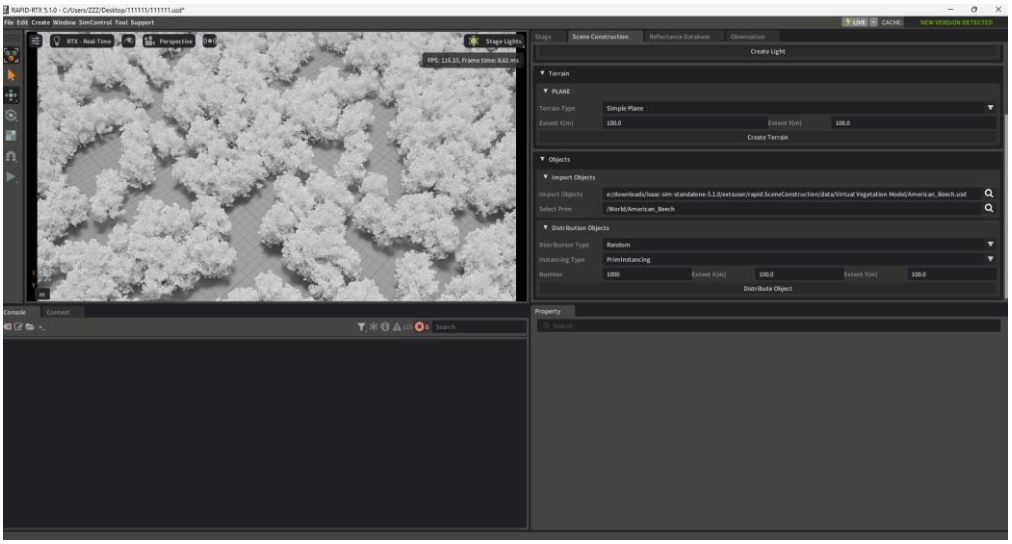

图 3-4 树木位置随机生成后的场景

【Instancing Type】下选择【Import Position】可以导入自定义的位置文件和几何模型。【Model Folder】中要选择到模型文件夹中，有模型文件图标。【Data File】目前支持 csv 文件，【DEM File】为 usd 文件。可以在点击【Model Folder】右侧的放大镜图标后新出现的窗口的顶部路径下找到对应的参考文件，查看对应文件格式。

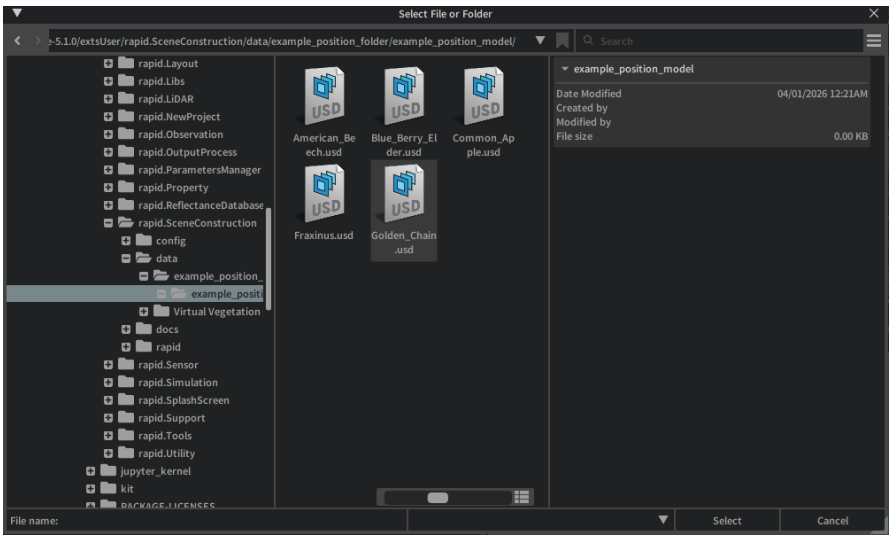

图 3-5 Select File or Folder 窗口

位置生成完成后，在点击主界面的右上处的【Stage】，所有的【模型原型】都会放在'/World/Prototypes'路径下，方便后续的添加光谱属性操作。

3.2.2 场景光谱属性构建

点击主界面的右上处的【ReflectanceDatabase】面板，在【Spectral Bands】中手动输入波段如：波长 1:波段宽度 1,波长 2:波段宽度 2,…，或者使用【Define Bands】定义波段，RAPID-RTX 内含一个光谱库，点击【From Database】后出现一个【Spectral Database Preview】光谱库窗口，点击左侧列表中有不同地物组分的光谱名称，也可以向光谱库中加入自己的光谱数据，详见 3.3，点击【Select】按钮，即可将该组分的光谱数据添加到数据表格中。

【ReflectanceDatabase】面板中的数据表格，【reflectance】和【transmittance】代表实际反射率和透射率，【display color】代表展示颜色，也是视口中看到的颜色。点击数据表格下的【Refresh】按钮，即可将所有光谱数据添加或者更新到【Stage】中，并且可以在【Stage】面板中的"/World/Looks"下看到对应名字的反射率材质。默认存在土壤、叶片和树干三个反射数据。

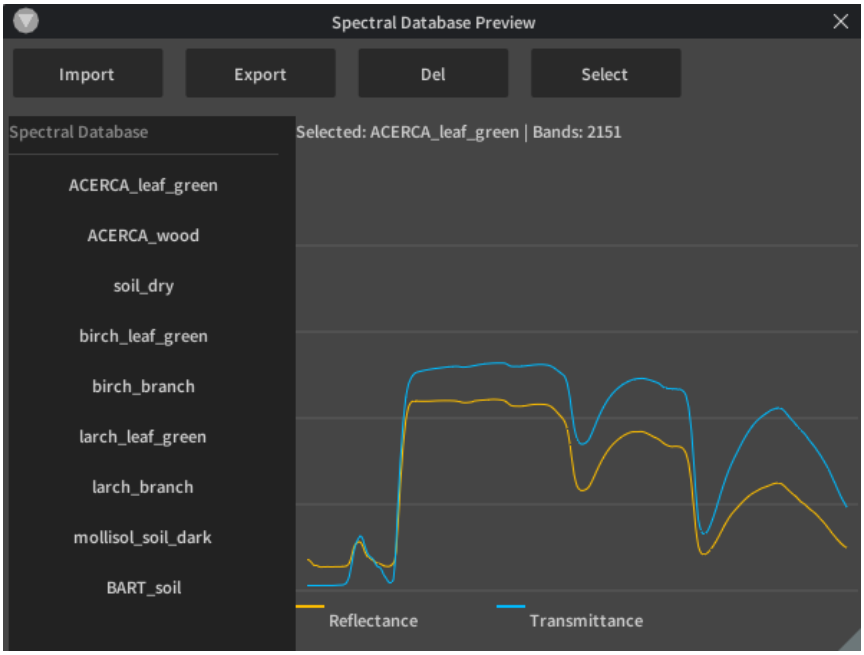

图 3-6 Spectral Database Preview 窗口

在【Stage】面板选中之前做分布操作的模型（一般在/World/Prototypes 路径下），点击 stage 中【模型原型(如/World/Prototypes /American_Beech)】下看到 mesh 类型的元素，一般情况下默认模型有两个 mesh，一个是 leaf 需要绑定叶片反射率数据，一个是 trunk/branches 需要绑定树干反射率数据。选中 mesh 元素后，在右下角【Property】面板中 Reflectance_Binding 栏中选择想要绑定的光谱数据 (图 2-4)。

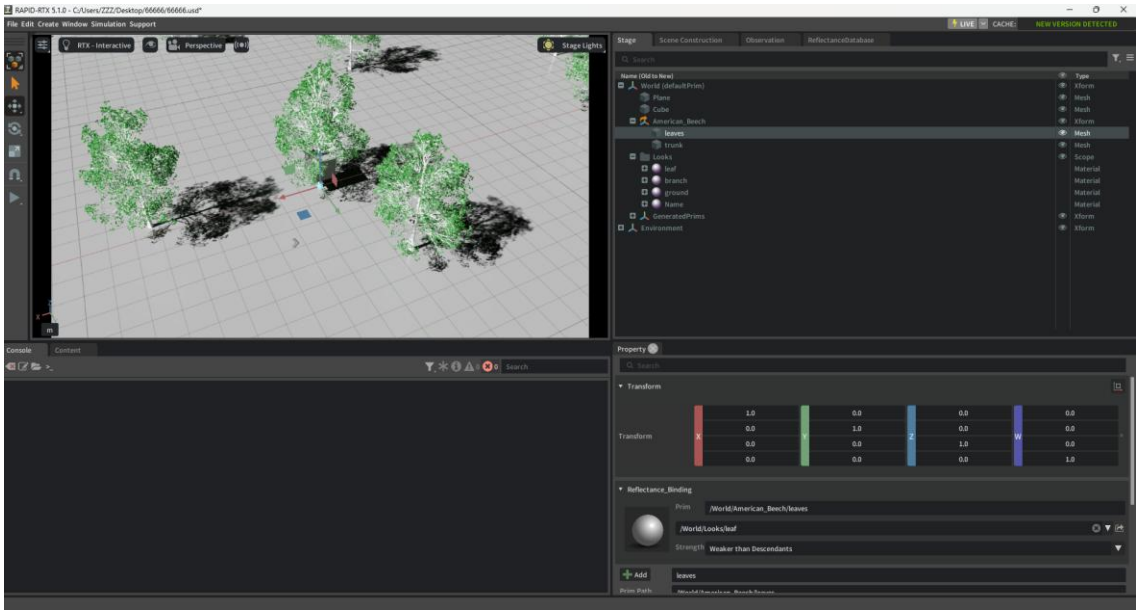

图 3-7 反射率数据的绑定

3.3 数据模拟实践练习

3.3.1 多光谱相机模拟

点击主界面的右上处的【Observation】面板。在【Type】中选择光学传感器类型，比如默认的透视相机 Perspective，之后设定模拟影像的宽度和高度，以像素为单位，和对角线视场角。在【Sampling Model】中选择观测模式，比如单次采样和恒定高度采样，设定飞行的开始位置和结束位置，飞行高度，前向和旁向重叠率。最后点击【Create】按钮，航线位置可视化显示在视口界面中(图 2-5)，如果没有出现可视化航线，请拉远视角查看场景，【Stage】面板默认路径/World/sensor 下出现对应的传感器。

观测方式：

【Single Sampling】单次采样，在指定位置上朝向指定方向观测。

【Sampling Model】在恒定高度上采用，类似大疆飞行任务系统。

【Semi-circular Sampling】竖直半圆形采样，快速计算多角度 BRF，在结果文件夹下生成 BRF 曲线图。

【Semi-circular Sampling】全方位采样，以观测中心为球心，采用多个同心圆的所有位置。

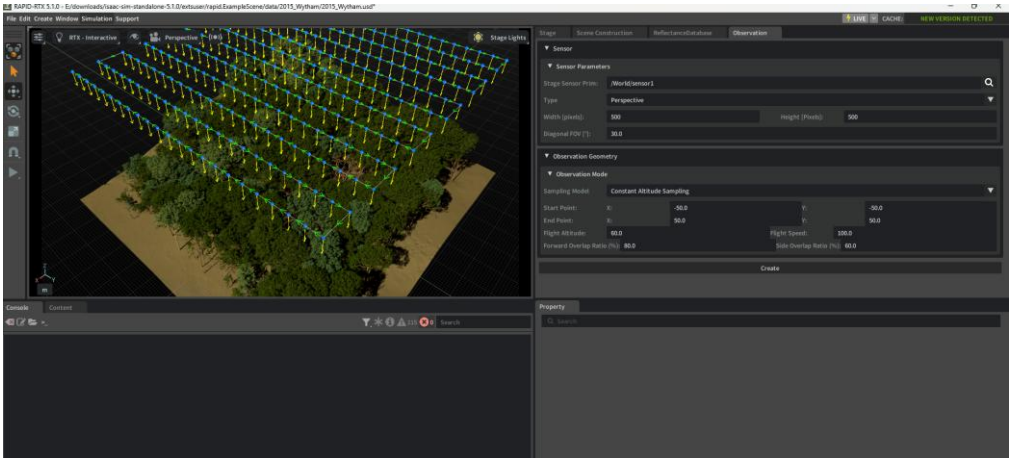

图 3-8 飞行路径可视化

点击在左上角菜单栏中的【SimControl】下的【Start】按钮，开始模拟。等模拟进度条结束以后，点击进度条窗口的中或者【Tools】下的【Open Results Folder】按钮，打开模拟结果文件夹，可以在 Results 文件夹下看到模拟结果。

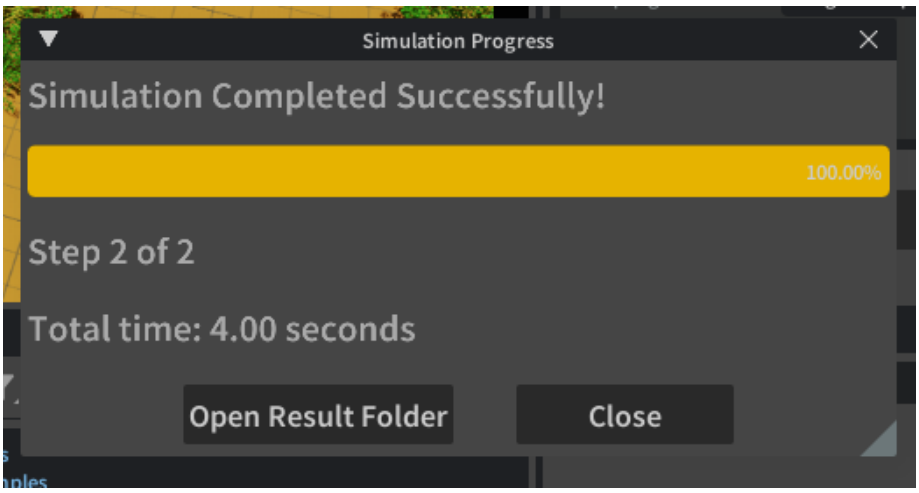

图 3-9 进度条窗口

在界面左上角的菜单栏中点击【Tool】选中【Image Data Viewer】，在出现的【Image Viewer】窗口中点击【Browse】按钮选择需要查看的模拟文件，在 RGB Band Selection 中选择三个波段合成图像。

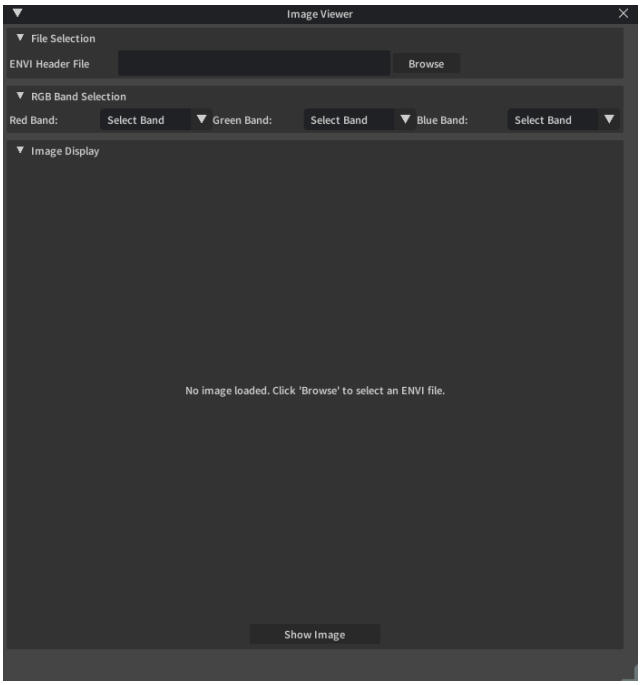

图 **3-10** Image Viewer 窗口

3.3.2 激光雷达模拟

在【Observation】面板下，【Type】中选择激光雷达传感器类型，默认有机载激光雷达【Airborne LiDAR】和地基激光雷达【Terrestrial LiDAR】，在【Sensor Parameters】和【Observation Mode】设定传感器和观测几何参数，点击【Create】按钮，航线位置可视化显示在视口界面中。

点击在左上角菜单栏中的【SimControl】下的【SimLiDAR】按钮，开始激光雷达模拟。可以在 Results 文件夹下看到模拟结果。

在界面左上角的菜单栏中点击【Tool】选中【PointCloud Data Viewer】弹出【PointCloud Viewer】窗口中的【Browse】选择点云文件，然后选择可视化的点云颜色和大小，点击【Add PointCloud】向场景中添加点云，重新选择点云颜色和大小后点击【Refresh】刷新场景中的点云。

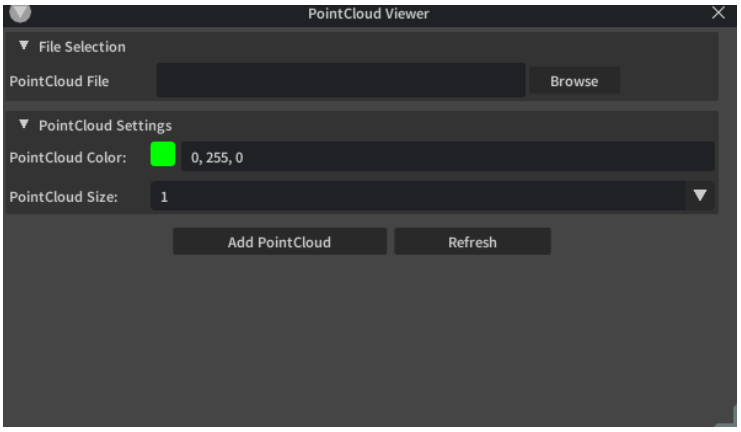

图 **3-10** PointCloud Viewer 窗口

3.3.2 星载大光斑波形模拟

在【Observation】面板下，【Type】中选择星载大光斑【Spaceborne LiDAR (Waveform LiDAR Data)】，设定传感器和观测几何参数，点击【Create Sensor】按钮，光斑位置可视化显示在视口界面中。可以在 Results 文件夹下看到模拟结果，包含波形文件 SpaceborneLiDAR_Waveform.txt，波形图和用于模拟波形的点云数据。

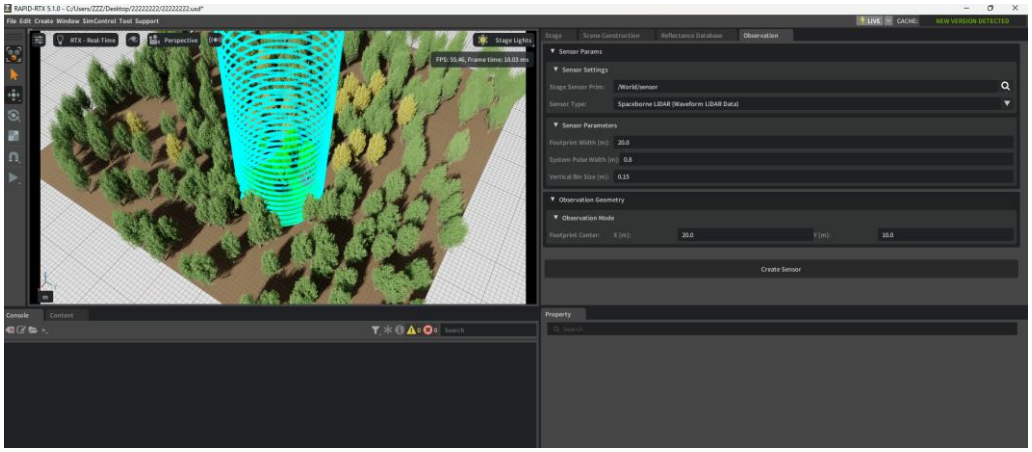

图 3-10 大光斑可视化窗口

第 4 章 RAPID-RTX 实用工具

4.1 AI 工具

4.1.1 AI 工具介绍

Chat RAPID 是基 Chat USD 框架深度定制的多智能体协作系统（Multi-Agent System）。它以大语言模型（LLM）为“大脑”，通过 Supervisor Agent 进行意图理解与任务路由，并调度多个专业工具（Tool）完成地形生成、树种分布、材质绑定等原子操作。它专注于解决传统 3D 森林场景构建流程复杂、耗时长的痛点。用户只需输入自然语言需求，即可快速构建高保真 3D 森林场景。

4.1.2 Deepseek 的 API 密钥绑定

在使用 Chat RAPID 前，您需要先完成 DeepSeek API 密钥的绑定配置。具体操作步骤如下：

Step 1：获取 API Key

1. 访问 DeepSeek 开放平台：https://platform.deepseek.com
2. 注册/登录您的账号
3. 进入控制台，购买并生成 API Key
4. 复制生成的 API Key（例如：“rapid-rtx-666"）

Step 2：配置到 Chat RAPID

1. 打开 RAPID-RTX 程序的安装根目录。
2. 按以下路径找到配置文件：
   .extsRAPID-RTX\rapid.chat_rapid\config\extension.toml
3. 用文本编辑器打开 extension.toml 文件。
4. 定位到以下配置段：
   [settings.exts."omni.ai.chat_usd.bundle".custom_chat_model]
   api_key = "your_api_key_here"。
5. 将 your_api_key_here 的值替换为您从 DeepSeek 平台获取的 API Key 如：api_key = "rapid-rtx-666"。

Step 3：生效配置

1. 保存 extension.toml 文件。
2. 重启 RAPID-RTX 程序，配置即可生效。

4.1.3 使用 Chat RAPID

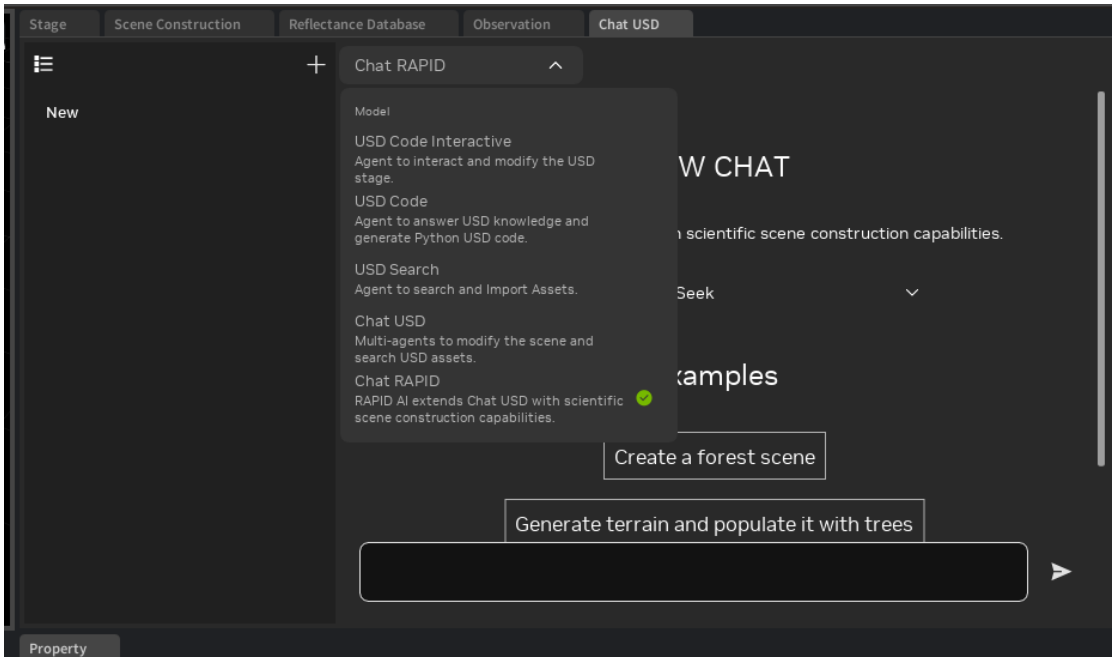

图 4-1 Chat RAPID 窗口

1. 进入 ChatRAPID 工作区

启动 RAPID-RTX 后，点击界面右上角的切换按钮，选择 Chat USD 窗口。

2. 窗口布局

左侧面板：历史对话记录区，展示所有历史会话。

右侧面板：当前对话交互区，用于与 AI 智能体进行实时交流。

注意：当前版本仅支持英文输入，请勿使用中文或其他非英文字符。

3. 切换智能体（Agent）

在窗口左上角的下拉菜单中，可选择当前对话所使用的智能体。

可用的智能体列表如下：

智能体名称	功能描述
USD Code Interactive	与 USD Stage 交互并生成 USD Python 代

	码
USD Code Agent	回答 USD 相关知识，并生成 Python USD 代码
USD Search	搜索 USD 资产，并支持拖拽导入场景
Chat USD	⭐ 多智能体协作模式，支持场景修改与 USD 资产搜索
Chat RAPID	⭐ 推荐使用。基于 Chat USD 扩展，具备科学森林场景的快速构建能力

4. 场景生成

在右侧对话区域输入场景创建指令，例如：：Create a forest scene with a slope of less than 10 degrees, containing shrubs and grass.

5. 执行完成

指令提交后，AI 智能体将进入任务解析与执行阶段。执行过程中，Agent 的输出信息会动态更新多次，反映当前任务的进展状态（如地形生成中、树种分布计算中、材质绑定中等）。请耐心等待执行完成，场景将在后台自动构建。生成完毕后，Omniverse Stage 窗口中将会出现对应的 Prim 层级结构，即表示场景已成功创建。

4.1.4 接入后续模拟流程

AI 场景生成完成后，如需接入后续的模拟分析流程，请参照 3.2.2 场景光谱属性构建章节，继续完成场景反射率等光谱属性的设定工作。

⚠️ 注意：AI 自动生成场景中的材质目前仅用于视觉效果展示，其材质属性尚未绑定详细的光谱反射率数据。因此，在接入模拟流程前，需按照 3.2.2 节中的方法，为场景中的对象重新配置准确的光谱属性，以确保模拟结果的科学性。

后续版本计划将实现从场景生成到模拟分析的完整 AI 自动化工作流，届时用户无需手动介入光谱属性配置。

4.2 Script Editor 脚本编辑和运行工具

点击左上角菜单栏中的【Tool】下的【Open Custom Script Floder】按钮，打开自定义脚本的文件夹。打开一个脚本文件，比如 terrain_by_perlin_noise.py，复制文件中的所有内容，在左上角菜单栏中的【Window】下打开【Script Editor】窗口，将复制的内容 Ctrl + V 粘贴上去，点击窗口左下角的运行按钮，开始运行脚本。

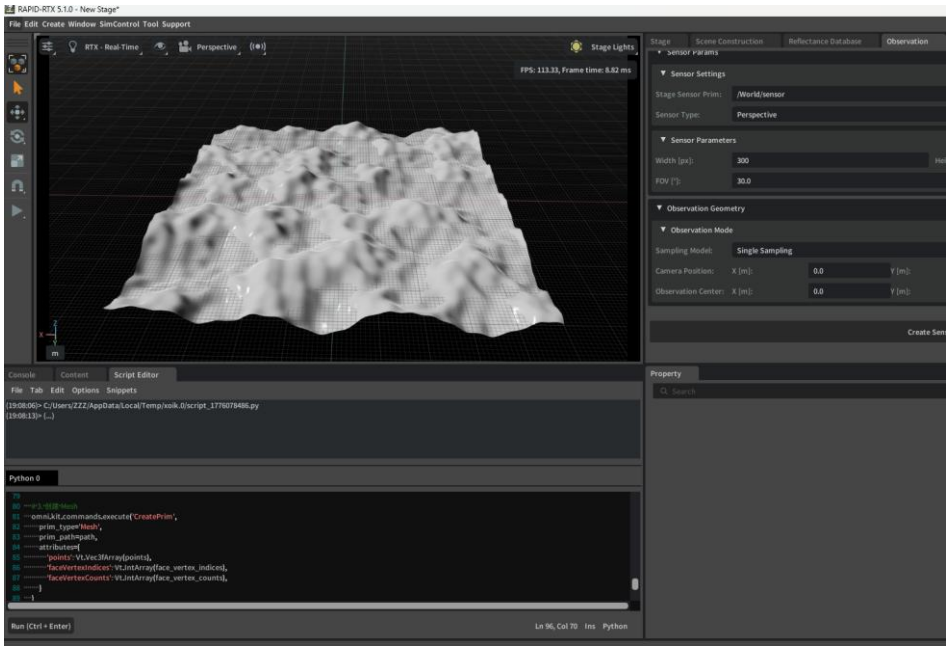

图 4-9【Script Editor】窗口与 terrain_by_perlin_noise.py 地形生成