

基于 RealityCapture 和 SpeedTree 平台的 园林古树三维建模研究

李骁逸¹

LI Xiaoyi

摘要

古树作为独特的园林植物资源,不仅是自然之宝,更是文化的载体,蕴含了丰富的历史信息。从文化角度看,古树是珍贵的历史文化资产,承载着深厚的文化底蕴,被誉为绿色的活文物。基于 RealityCapture 和 SpeedTree 两个软件平台工具,从研究概述、软件的基本构成和古树建模具体方法三个方面,阐述了一种新型的树木建模思路,并以故宫博物院慈宁宫花园内的古侧柏为例进行具体阐述,提出了一种在不便于使用无人机扫描拍摄地区也能实现较为精准的高大古树真实还原的可行路径。

关键词

古典园林;数字化;慈宁宫花园;古树;活文物

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.05.049

0 引言

在数字化时代,三维建模已渗透到生活的各个领域,它能够以更加精细、立体的方式呈现研究对象,为人们提供更加深入、全面的理解和认识。对于古树名木研究来说,三维模型数字资产的构建同样具有很强的必要性。通过对古树进行三维建模,不仅可以为古树保护提供精确的数据支持,还可以为研究古树的生态、生长习性、历史变迁等提供重要的参考依据。更为重要的是,通过三维建模技术,可以将古树的信息以更加真实、生动的方式呈现出来,为公众教育和文化传承提供强有力的支持,让更多的人能够通过这种方式,深入了解和感受古树的魅力,进一步增强对自然和历史文化的敬畏和保护意识。

由于植物生长特有的复杂性,从传统意义上来讲,通过三维扫描对古树建模是获得数字模型最快捷且精准的方式。一般来说,古树都比较高,很难只用手持设备完成基础信息的图片扫描,大多需要借助无人机倾斜摄影技术^[1]完成树冠处的基础信息采集,然而在城市区域,很多地方禁止无人机飞行,这就为古树的扫描建模设置了障碍。

本文提出的建模方法是一种新的思路,即通过手持模型对较低的树干部分进行图片采集,较高的部分通过 SpeedTree 参照植物图片进行手动建模生成,最后结合 SpeedTree 中针对扫描模型传递的功能将二者无缝结合到一起。本文以故宫博物院慈宁宫花园的古侧柏为具体研究对象,该方法可以延伸至无人机禁飞区域的古树三维模型

建立途径。

1 软件构成

1.1 RealityCapture 介绍

RealityCapture 是一款实时三维扫描建模软件,它利用计算机视觉和图形学技术对现实世界进行三维重建^[2]。该软件具有强大的图像处理和点云生成功能,能够将拍摄的图像或视频转换成三维模型,并支持实时渲染和动画制作。该软件操作简单,可以通过简单的拖放和调整参数来创建高质量的三维模型。RealityCapture 广泛应用于建筑、游戏开发、电影制作、文化遗产保护等领域,它支持多种操作系统和硬件平台,可与多种软件进行集成,例如 Autodesk、Blender 等。

1.2 SpeedTree 介绍

SpeedTree 是一款三维树木建模软件,可以建模的植物种类包括但不限于草类植物、蕨类植物和树类植物,它支持大片树木的快速建立和渲染^[3]。SpeedTree 不仅适用于游戏开发,还广泛应用于电影制作、建筑等领域,它自带的树木库种类丰富,也可以通过导入外部模型和贴图来扩展树木库。

2 技术路线

上文介绍了 RealityCapture 和 SpeedTree 两个软件的基础功能,在古树模型的实际生成中,两个软件发挥着不同的作用。RealityCapture 作为先行软件,用来将采集的古树树干图片生成带材质的 mesh 树干模型。SpeedTree 作为后处

1. 故宫博物院 北京 100006

理软件，用来在 RealityCapture 导入的树干模型上继续生成上部枝干和树叶，并在连接处通过独有的算法进行无缝衔接，枝干和树叶得益于 SpeedTree 的高自由度，可以根据古树的实际长势和形态进行最大化还原^[4]。下面是以慈宁宫花园古侧柏为例的具体操作阐述，也是对上述技术路线的详细整理（图 1）。

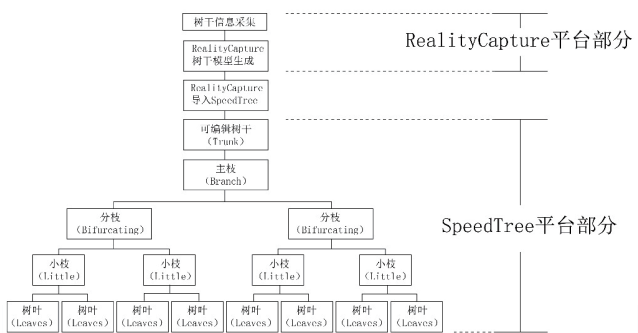


图 1 技术路线

2.1 树干信息采集

树干信息的采集主要是对树干进行拍照，照片采集的信息作为 RealityCapture 点云模型的数据源（图 2）。为了使模型结果尽量精确，在拍照时要注意以下几个方面。（1）在拍摄天气选择上，应尽量选择柔和的阳光或阴天的散射光，以减少阴影和反光。（2）确定合适的拍摄距离。RealityCapture 需要从多个角度拍摄可视区域树干，因此需要确保拍摄距离合适。太近或太远都可能导致拍摄失败或拍摄效果不佳。（3）保持相机稳定。RealityCapture 需要拍摄多个角度，因此需要保持相机稳定，避免出现晃动或模糊的情况。可以使用三脚架或其他稳定设备来帮助固定相机。（4）调整相机参数。拍照时要根据环境条件调整相机参数，如光圈、ISO、焦距、快门速度、拍摄角度等。

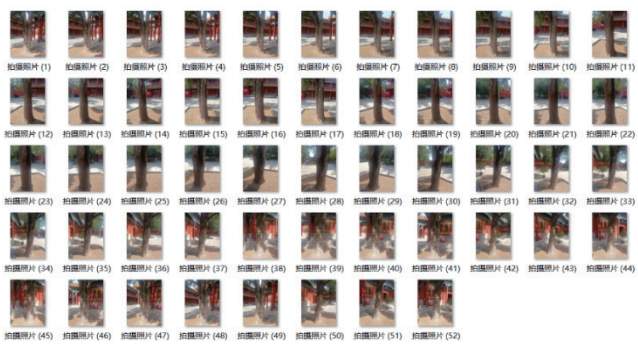


图 2 树干拍摄照片

2.2 RealityCapture 树干模型生成

上一节拍摄的照片作为树干模型的生成信息源，本节将介绍用这些模型生成树干模型的简要步骤和原理。这里使用的是 RealityCapture BETA 1.0 中文版。

2.2.1 照片导入

需要将包含树干的多角度照片导入 RealityCapture 软件中。通过“工作流”菜单中的“添加图像”选项，可以导入照片文件夹。软件将对照片进行预处理，包括缩放、旋转、对齐等操作，以确保后续建模的准确性。

2.2.2 特征检测与匹配

在照片导入完成后，需要进行特征检测与匹配步骤。这一步的目的是识别照片中的关键特征点，并对其进行匹配，以便于后续的三维重建。选择“图像对齐设置”菜单中的“对齐图像”选项，软件将根据空间坐标对照片进行定位，并自动检测和匹配特征点。这一过程利用了机器学习技术，对图像中的特征进行自动识别和提取，提高了特征检测的准确性和效率。通过训练大量的图像数据，软件能够自动识别树干的形状、纹理等特征。完成特征检测与匹配后，可以在右侧的 3D 模型视口中查看通过图像信息采集到的树干点云模型^[5]。

RealityCapture 的特征检测与匹配的原理主要基于计算机视觉和图像处理技术。在 RealityCapture 软件中，特征检测与匹配是实现三维重建的重要步骤之一，通过自动识别和匹配照片中的特征点，软件能够准确地重建出物体的三维模型。

特征检测是识别图像中具有显著特征的点或区域的过程，在 RealityCapture 中，特征检测使用算法自动检测照片中的关键特征点，如边缘、角点、纹理交叉点等。这些特征点在三维重建过程中起着关键作用，因为它们提供了足够的信息来确定物体的几何形状和位置。在进行特征检测时，RealityCapture 软件使用了一种名为 SIFT（Scale-Invariant Feature Transform）的算法。SIFT 算法能够检测出图像中的局部特征，并为其分配一个描述符，这些描述符包含了特征点的位置、方向和尺度信息，有助于后续的特征匹配过程。

特征匹配是在不同图像之间匹配相应的特征点的过程，在 RealityCapture 中，特征匹配基于特征描述符的相似性进行匹配。通过比较不同照片中特征点的描述符，软件能够识别出它们之间的相似性和对应关系。RealityCapture 使用了一种被称为 Brute-Force Matcher 的算法来进行特征匹配，该算法通过计算描述符之间的欧氏距离来评估相似性，距离越小，表示两个特征点越相似，从而建立相应的匹配关系。在进行特征匹配时，RealityCapture 还考虑了特征点的空间一致性，通过几何关系和空间约束条件，软件进一步筛选出符合物体真实几何形状的匹配点对，这有助于排除错误的匹配，提高三维重建的准确性。

2.2.3 范围选择

在点云模型的基础上,通过调整视口操作,如缩小、旋转、拖动等,观察并选择需要的树干部分,使用鼠标在点云模型周围拖动选择合适的范围,确保仅保留需要的树干部分。这一步有助于进一步细化模型的范围和细节。

2.2.4 三维重建

基于特征匹配的结果,开始进行三维重建。选择“重建设置”菜单中的“模型处理”选项,并依次选择“预览”和“普通细节”模式进行重建。在重建过程中,软件会利用多视图几何算法,根据不同角度拍摄的图像来重建目标对象的三维结构,完成重建后,可以得到初步的树干白模模型^[6]。

多视图几何算法是三维重建的基础,它利用不同角度拍摄的照片中的几何信息,通过三角测量和立体视觉技术,恢复出物体的三维形状^[7]。在 RealityCapture 中,通过对树干照片进行特征点检测和匹配,能够获取树干在不同角度下的几何信息,进而重建出三维模型。

2.2.5 纹理映射

为了让三维模型更加逼真,需要进行纹理映射操作。选择“重建设置”菜单中的“模型处理”选项,依次选择“着色”和“纹理”选项进行纹理映射处理。为模型添加纹理和细节,使其外观更加接近真实树干。

在 RealityCapture 中,纹理映射是将三维物体每个点的颜色信息存储在一张 2D 的 Texture 里,根据映射关系计算出漫反射系数,经过计算纹理就被贴在了物体上,模型顶点在经过顶点着色器变换后,最终得到一个屏幕投影空间(可以简单认为是屏幕空间)坐标。这样,模型中的图元(大部分时候是三角形)就由模型空间转换到了屏幕空间。这些图元去掉屏幕以外部分(裁剪过程)后,经过光栅化被切分为一个个小的片元(与屏幕像素相对应的一个小方块),每个片元中都包含有一个从各个顶点中差值而来的纹理坐标,在像素着色阶段(为每个小方块上色),通过这个纹理坐标就可以在指定的纹理上采样到颜色值,最终用于该片元的着色,这个过程就是纹理映射的全过程。

在纹理映射过程中,RealityCapture 采用了 mipmap 技术。简单来说,mipmap 是一种预计算的纹理,它会将纹理区域求均值来获得更好的纹理映射效果^[8]。这是因为,在 3D 场景中,同一个模型在屏幕上产生的像素数量是不一样的,如果直接简单地按照纹理坐标在贴图上去色的话,结果会出现各种问题。

2.2.6 模型优化

最后一步是进行模型优化,优化处理可以进一步提高模

型的运算速度和应用性能。在 RealityCapture 软件中,选择“重建设置”菜单中的“选择”选项,使用矩形框选树干顶部截面处的网格面,并使用“筛选器选择”工具将选定的网格面删除,确保树干截面为开口模型。此外,为了提高模型的运算速度和应用性能,可以进行网格面的简化操作,选择“重建设置”菜单中的“工具”选项,并使用“简化工具”对网格面进行简化处理,根据需要调整目标三角形数量等参数,然后点击“简化”按钮实现减面操作。完成模型优化后,即可得到高质量的树干模型。(图 3)。

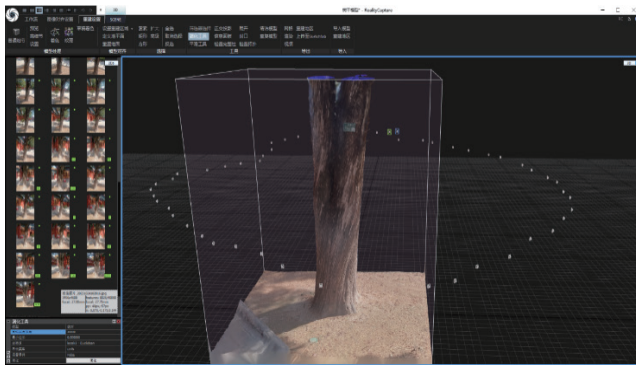


图 3 RealityCapture 中生成的树干模型

2.3 RealityCapture 导入 SpeedTree

上一节中已在 RealityCapture 生成了树干模型,本节阐述如何将其导出至 SpeedTree 中。

2.3.1 RealityCapture 导出 obj 模型

RealityCapture 导出模型保存为默认 obj 格式,导出设置中“纹理设置”内的“导出纹理”设为 True,“纹理文件格式”设为 PNG,这样最终导出的文件中会包含一张 PNG 格式的材质贴图。

obj 模型和 PNG 贴图在模型中的优点主要体现在它们的通用性、数据完整性以及丰富度上。obj 模型作为通用性极强的三维模型文件格式,不仅结构简单直观,而且支持多种数据类型,使得模型具有丰富的视觉表现。而 PNG 贴图则以其无损压缩、支持透明度和丰富色彩等特性,为模型提供了高质感的纹理和细腻的色彩层次。将 obj 模型与 PNG 贴图结合使用,可以在三维重建中获得更加逼真和完整的模型效果,进一步提升了三维重建的应用价值。

2.3.2 obj 模型导入 SpeedTree

将 obj 模型导入 SpeedTree 的过程涉及通过软件界面进行一系列操作,包括文件导入、模型调整、纹理设置、树体匹配、渲染设置和导出等步骤。整个过程基于 obj 格式与 SpeedTree 内部数据格式之间的转换,通过读取 obj 文件中的几何和元数据,将其转换为 SpeedTree 可处理的数据结构。在处理过程中,软件会处理模型的顶点、面、材质和纹理

等数据，以确保它们与 SpeedTree 的内部数据格式相匹配，同时可以进一步调整模型的位置、方向和匹配树形等参数，优化模型的外观和性能。最后，通过渲染设置和导出功能，可以生成最终的渲染图像或导出为其他软件兼容的格式。整个过程原理基于文件格式转换和数据处理，能够利用 obj 模型在 SpeedTree 中创建逼真的树木模型并生成高质量的渲染效果（图 4）。

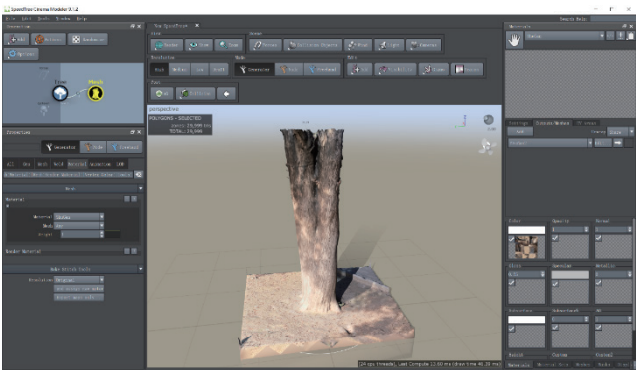


图 4 树干模型导入 SpeedTree

2.4 SpeedTree 中添加枝叶细节

上一节将树干模型导入了 SpeedTree，并赋予了 Mesh 属性，下面一步即是在此基础上对照实景古侧柏照片进行树干的无缝衔接，以及枝干和叶片的还原。

2.4.1 树干的无缝衔接

将扫描的树干模型导入 SpeedTree 后，可以使用 Stitch 缝合工具无缝生成树干，该过程是一个需要精确操作的过程，涉及多个步骤和原理。首先，需要将扫描得到的树干模型导入 SpeedTree 软件中，这一步要求模型格式正确且细节完整。接着，准备一个基础树干模型，以便后续的生成操作。然后，打开 Stitch 缝合工具，并将扫描的树干模型与基础树干对齐，这个步骤非常关键，需要仔细调整位置、旋转角度和缩放比例，以确保两个模型在形态和比例上相匹配。

Stitch 缝合工具的原理基于几何形态匹配和表面重建技术^[9]，它通过分析扫描模型和基础树干的几何特征，自动寻找最佳的对应点，并确定最佳的缝合线。这些缝合线会在两个模型之间形成平滑的过渡，从而使得生成的树干与扫描模型无缝衔接。在缝合过程中，SpeedTree 软件可能会采用一些优化算法和数学计算方法，以进一步提高缝合的准确性和效率。

完成缝合后，可以在 SpeedTree 中继续生成树干，这个步骤可以根据需求进行调整和完善，例如添加树枝、调整树干的形态和纹理。由于扫描的树干模型已经与基础树干无缝衔接，因此生成的树干将自然地延续扫描模型的形态和细节。

为了提高模型的逼真度和自然度，还可以利用 SpeedTree 提供的编辑工具进行微调，如使用平滑工具使表面更加光滑或调整材质和纹理，以增强真实感。

将扫描的树干模型导入 SpeedTree 后，使用 Stitch 缝合工具无缝生成树干是一个综合应用几何形态匹配、表面重建和纹理映射等技术的过程。通过仔细操作和不断优化，可以轻松实现扫描数据与虚拟模型的完美结合，为树木建模工作提供更加丰富和准确的数据来源，这种方法不仅提高了建模效率，也使得生成的树干模型更加逼真和自然。

2.4.2 枝干的添加

在 SpeedTree 中按分级添加枝干的方法需要遵循一系列步骤，并基于分形几何^[10]和递归生成技术。首先，需要选择一个主干节点，这可以是树干底部的根节点或已经存在的树枝节点。选中节点后，进入“Generators”模式来添加枝干。接下来，可以通过调整参数面板中的各项参数来控制枝干的形态和分布，这些参数包括长度、半径、弯曲度等，通过滑动条或输入数值进行调整。此外，还可以使用旋转、平移和缩放等操作来精确控制枝干的位置和方向。

在调整枝干参数时，SpeedTree 会根据分形几何原理生成枝干的形状。分形几何是一种描述自然界和非线性系统的数学工具，它能够生成具有自相似性的复杂结构。在 SpeedTree 中，通过递归地应用分形几何规则，可以生成逼真的树枝和树干结构。具体来说，SpeedTree 会根据设置的参数和分形规则，自动计算出树枝的形状和尺寸，这些规则包括树枝的弯曲度、长度、分支角度等，它们会在递归过程中不断重复应用，从而生成复杂的树枝结构。

通过分级添加枝干的方法，可以从一个主干节点开始，逐级添加各级树枝和分支，每添加一个枝干节点，SpeedTree 都会根据分形几何原理生成该节点的子节点，并继续应用相同的规则。这样，可以从上到下逐级细化树枝结构，直到达到所需的精细度（图 5）。

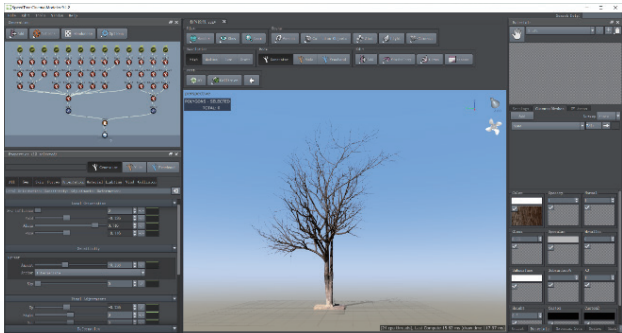


图 5 SpeedTree 中在树干模型基础上生成枝干

2.4.3 树叶的添加

侧柏的叶序生长形式是对生，侧柏对生树叶的建立过程

涉及树叶的形状、大小、旋转角度等属性的调整,以适应分枝的结构。SpeedTree 会自动根据树叶的属性和位置生成相应的几何模型,从而创建出逼真的对生树叶效果。这种方法的原理在于利用计算机图形学和几何建模技术,模拟侧柏树的生长规律和形态特征,生成逼真的对生树叶模型。

2.4.4 赋予材质

材质的赋予包括三个部分:树干、枝干和树叶,其中树干和树叶可以使用同一个材质,树叶单独使用材质。添加材质需要遵循一系列步骤,并基于材质编辑和贴图映射技术。

首先,选择要添加材质的树干、分枝或树叶,在选中对象的同时,切换到“Material”选项卡。在 Material 选项卡中,可以看到一个材质编辑器,这个编辑器允许选择和调整材质的属性,如颜色、纹理、透明度等。

对于树干和分枝,通常需要添加颜色贴图以模拟树皮或木质表面的颜色和纹理,在材质编辑器中,选择“Diffuse”贴图通道,并导入一张适合的贴图文件,这个贴图将用于定义材质的表面颜色和纹理。

对于树叶,除了颜色贴图外,通常还需要添加法线贴图以模拟叶面的凹凸感,在材质编辑器中,选择“Normal”贴图通道,并导入一张法线贴图,法线贴图包含了叶面的凹凸细节信息,通过与颜色贴图的结合,可以生成更逼真的树叶效果。除了颜色和法线贴图,还可以为树叶添加透明贴图以模拟叶子的透明度。在材质编辑器中,选择“Opacity”贴图通道,并导入一张透明贴图,透明贴图用于定义叶子的透明区域和不透明区域,使叶子看起来更真实。

在调整材质属性的同时,SpeedTree 会自动根据材质的定义生成相应的几何模型,这个过程基于材质映射技术^[11],将贴图上的纹理和细节映射到模型的表面,从而创建出逼真的树干、分枝和树叶效果。

以上,通过后续的微调,可以将慈宁宫花园咸若馆前的古侧柏转变为三维模型数字资产(图6)。



图6 最终模型与实际古侧柏对比

3 结语

RealityCapture 和 SpeedTree 两个平台的配合,提供了一种无人机禁飞区域的古树数字建模新途径。该方法成本低、易操作,对于个人研究来说是一个不错的方法。当然本文所提及的方法也有不足之处,比如比对照片进行手动建模,与全扫描模型模型相比具有一定的误差性。并且虽然 SpeedTree 中也内置季相变化的功能,但是与自然的古树四季变化相比,仍存在一定程度上的失真。

对于故宫博物院内古树的数字化研究来说,该方法能够帮助研究人员在不使用无人机的情况下最大化还原古树三维形态,将“活文物”转变为可存留的数字资产,对传统文化的继承和弘扬具有一定的技术意义。

参考文献:

- [1] 褚宁,米川.一种基于无人机倾斜摄影的高精度单体三维建模方法[J].地理空间信息,2023,21(11):9-14.
- [2] 陈春.基于 RealtyCapture 的虚拟仿真游戏场景设计[J].鞋类工艺与设计,2023,3(5):74-77.
- [3] 张婷.基于 SpeedTree 软件虚拟园林植物的建造研究[J].安徽农学通报,2016,22(16):123-127.
- [4] 夏红梅,张欣景,胡训强.基于 SpeedTree 工具的三维真实感树木建模研究[J].舰船电子工程,2015,35(1):99-101+130.
- [5] 张红,李庆,王筱雪,等.基于 SpeedTree 的点云数据逆向建模研究[J].价值工程,2018,37(23):200-203.
- [6] 李虹珊,常一孜.三维建模软件 SpeedTree 中树木的基本构造[J].现代电影技术,2013(7):33-36.
- [7] 陈馨.基于多视图的三维重建算法研究[D].北京:北方工业大学,2023.
- [8] 徐莹.改进的基于 MipMap 算法的真实感纹理贴图渲染技术[J].绵阳师范学院学报,2013,32(5):67-70.
- [9] 熊英乔.虚拟现实技术在三维图像表面重建中的应用[J].信息与电脑(理论版),2023,35(1):14-16.
- [10] 陶凌,陈安庆,邓贞宙,等.应用分形几何与混沌理论进行植物形态建模[J].电子学报,2021,49(9):1776-1782.
- [11] 张宇.实时渲染中环境映射技术的研究与应用[D].成都:电子科技大学,2012.

【作者简介】

李骁逸(1990—),男,河北张家口人,硕士,工程师,研究方向:古典园林的数字化研究和现代化译译。

(收稿日期:2024-03-15)