

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.037

# 无人机全景技术在桥梁施工管理中的应用

余飞, 徐乔, 罗博仁

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

**摘要:**伴随着桥梁跨度的不断增大和服务水平的不断提高,桥梁施工的智能化、精细化管理显得越来越重要。该文结合无人机全景技术的特点及优势,提出了一种利用无人机全景技术辅助桥梁施工进度管理的方法,通过无人机对桥梁施工的现场信息进行全景数据采集和处理,构建全景可视化服务平台辅助施工现场进度管理。工程实践表明:无人机全景技术可为施工组织和项目管理决策提供全景可视化信息服务,有益于提升桥梁施工建设的精细化管理水平,促进桥梁施工建设施工管理水平和效率的提升。

**关键词:**无人机;全景影像;桥梁;施工管理

## 1 引言

桥梁作为大型交通工程的重要组成部分,在“一带一路”倡议和长江经济带发展战略等的大力推进下,崇山峻岭和大江大河区域要求桥梁的跨度正在不断增大,桥梁施工建设规模的日益增大和结构的愈加复杂,致使桥梁建设期间对管理和服务的要求也越来越高。伴随着社会对现代化交通建设快捷、高效、安全和舒适的迫切需求,桥梁建设正朝着智能化、信息化服务的方向快速发展,尤其是在智慧交通和智慧工地的建设浪潮下,桥梁施工建设过程的信息化和精细化管理,已成为桥梁施工建设过程中的重要基础内容。

桥梁施工过程的可视化动态监测,在科研和工程领域中都有着重要的作用,将新技术应用于施工建设过程管理,提高施工建设管理的信息化和实用化水平是目前研究热点。目前,施工现场的可视化,通常通过二维图片或手工建成的三维模型来展示,场景细节不够丰富,数据处理效率低下,并且可视化表达不够直观和真实。因此,如何大范围、高细节地对施工现场进行真实有效的表达,是辅助施工过程可视化管理的关键。无人机全景技术,是一种以无人机为载体进行图像获取,然后基于无人机图像进行建模与渲染的虚拟现实技术,可增强场景渲染效果与用户交互。其将空中飞行过程中某一位置连续采集视野范围的图像处理成该视点的 $360^\circ$ 全景图像,无需对场景数据进行任何的具

体建模,便可直接利用可视化引擎对真实影像进行三维虚拟场景重建,并能够准确地反映现场实际情况,实现 $360^\circ$ 全视角的大范围空中监测和现场感知。该技术不仅具有数据采集操作简单、时效性强和分辨率高等特点,还有场景渲染效果逼真、交互性强、硬件依赖性低和传输绘制效率高等优势,非常有利于工程建设全过程精细化管理和信息化管理程度的提升。因此,该文提出一种利用无人机全景技术辅助桥梁施工进度管理的方法,首先通过多旋翼无人机搭载全景相机系统,高效、快速地对桥梁施工现场进行多时间序列的高分辨率现场信息采集,然后将获取的数据处理为 $360^\circ$ 全景图像和正射影像等信息,最后,通过构建桥梁施工进度可视化服务平台对桥梁建设施工现场的数据信息进行可视化管理和应用,进而辅助桥梁建设的施工过程管理。

## 2 无人机全景相机系统

全景影像大多数是通过多个相机或者单个相机旋转、平移采集含有部分重叠区的影像,然后通过图像拼接技术合成具有全视角的无缝全景影像。全景相机采集系统,根据主流数码全景相机的成像方式,主要分为旋转式扫描相机系统和多镜头组合相机系统。前者在高速移动中拍摄到的影像通常会产生较大的几何形变,只适用于静态或低速数据采集;而后者通常由一系列独立、固定的镜头组环绕相机中心搭建而成,同一时

收稿日期:2020-08-10(修改稿)

作者简介:余飞,男,高级工程师。E-mail:yufish1987@foxmail.com

刻即可完成四周全部影像数据的采集,非常适用于汽车或无人机等高速移动的载体。因此,在工程应用中选用的无人机全景相机系统为多旋翼无人机搭载的多镜头组合相机系统,该相机系统由5个水平方向和1个垂直方向共6个相机构成,其相机的品牌和相机内部参数基本一致,相机阵列可覆盖水平域 $360^\circ$ 和垂直域 $180^\circ$ 视角,相邻两相机视角均有一部分重叠区域,各个相机的光心尽量重合。

### 3 全景数据处理

无人机全景相机系统包含5个水平方向的子相机和1个竖直方向的子相机,在全景数据处理过程中,能将空中某一个固定位置拍摄的多张影像进行图像投影、图像拼接以及图像融合等处理,生成真实感和层次感更强的 $360^\circ$ 全景图像。同时,还可以直接利用竖直方向下视相机拍摄的图像进行影像拼接和三维重建,生成数字正射影像图和数字地面模型等构建三维地形场景,整体技术流程如图1所示。

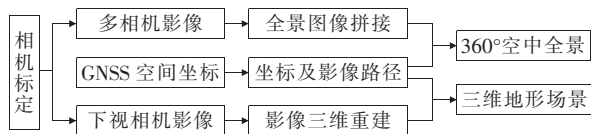


图1 全景数据处理技术流程

在全景影像拼接中,相邻局部图像是由不同的相机在不同的视角进行拍摄,各影像之间投影平面存在一定夹角,直接拼接发生变形会破坏实际场景视觉一致性,在拼接前首先需要进行相机标定以及图像投影。球面模型作为最为常见的全景影像投影模型,用方位角和俯仰角来表示图像上的任意一点,能表示全景相机的全部视角范围和反映实际场景中的客观几何关系,并方便计算机存储。由于全景相机系统中各子相机之间的相对位置和姿态可视为固定,通常利用试验场结合棋盘标定板进行标定,求解内方位元素,然后在全景相机的拍摄范围内均匀布设标志点并精确量测其绝对坐标,解算子相机的外方位元素。在相机标定后,即可利用实现标定的内外参数,对影像按球面模型进行投影和快速、严密拼接,由于拍摄受光照等影响导致相邻影像在亮度色彩上有差别,同时利用多分辨率图像融合方法,按照不同频率域对图像进行分解和重叠区域加权叠加,即使图像间变化差异大,也可平滑融合生成高质量全景图像。最后,根据拼接融合后的全景

影像和拍摄时的相机中心坐标进行关联,生成 $360^\circ$ 空中全景影像。

在三维地形场景重建中,根据下视影像和拍摄空间坐标信息,采用多视角多视图三维重建技术构建三维场景,即利用基于运动恢复结构算法(SFM)和基于面片的多视角立体视觉算法(PMVS),实现密集点云的重建,通过纹理映射和地形模型构建编辑得到正射影像图和数字地面模型,最终生成三维地形场景。

### 4 全景可视化平台开发

Web3D与GIS技术相结合是WebGIS发展的一个重要方向,Cesium是使用WebGL作为图形渲染引擎的3D图形引擎,作为一种轻量级的开源三维WebGIS开发框架,可以跨平台和跨浏览器,不仅成本低、开发简单,而且兼容XML、GML和GeoJSON等多种地图格式,主要通过服务的方式加载地图数据,进而在HTML5浏览器中进行动态数据可视化表达,非常适合用于多元动态数据的可视化展示。针对 $360^\circ$ 全景和三维地形场景多元时空的特点,在Cesium基础上根据分层设计的原则,基于Web服务开发了全景可视化平台,实现不同时间序列 $360^\circ$ 全景数据和三维场景的渐进式可视化分析,辅助工程建设施工进度管理与监测,平台设计体系结构如图2所示。

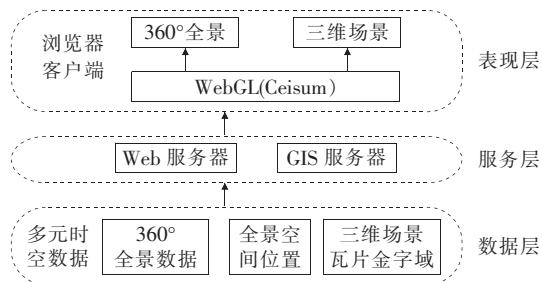


图2 全景可视化平台设计体系结构

全景可视化平台可分为数据层、服务层和表现层。数据层主要是存储 $360^\circ$ 全景和三维场景多元时空数据,为服务层提供空间数据来源,针对三维场景数据,构建基于四叉树的瓦片金字塔模型进行存储,针对 $360^\circ$ 全景数据,对全景的空间位置和 $360^\circ$ 全景影像进行关联和存储;服务层对瓦片金字塔数据和 $360^\circ$ 全景数据进行组织管理和分发处理,通过客户端浏览器Ajax请求,Web服务器接收和响应后将数据发送到客户端;表现层为浏览器客户端,作为用户与系统之间的交互可视化环境,可以对桥梁施工现场的空中 $360^\circ$ 全

景和三维场景进行可视化展示,辅助施工建设进度管理。

## 5 工程试验

武汉沌口长江公路大桥及接线工程,是武汉市四环线的重要组成部分,也是跨越长江的关键性控制工程。项目起点位于徐家堡,跨长江,过青菱湖,止于107国道,线路全长 8.599 3 km,桥路比约为 78.2%。工程试验利用六轴多旋翼无人机搭载全景相机系统进行数据采集,相机焦距为 3 mm,影像大小为 4 608×3 456。在大桥施工建设期间进行 3 次数据采集,同时保证影像的旁向重叠度达 60%以上。

在数据处理前,首先需要在试验场将全景相机系统进行标定,然后利用标定参数完成全部全景图像的拼接。该系统只需进行一次相机标定,即可利用全景影像拼接软件直接拼接获得 3 个不同时期的空中全景影像,但由于拼接后影像大小为 12 288×6 144,影像较大不便于网络传输,在保证影像质量的前提下,将其压缩为 4 096×2 048。同时,根据采集的下视影像和获取的 GNSS 坐标信息,利用 Agisoft PhotoScan 软件进行三维重建,生成数字正射影像和数字高程模型构建三维场景金字塔,如图 3 所示。



图 3 生成的全景影像(左)和三维场景(右)

在数据可视化应用中,基于 Cesium 开源平台开发了桥梁施工进度可视化平台,采用 B/S 结构实现了对武汉沌口长江公路大桥施工现场 360°空中全景和三维场景可视化,可远程随时随地通过浏览器查看施工现场细节,360°全视角从空中无缝浏览施工建设现场。同时,可将每幅全景影像的位置信息平面地图进行关联和标记,通过在平面图中进行点击查找对应位置的全景影像图,也可以通过当前浏览的全景影像反应视点所在平面地图中的实际位置。

在施工进度可视化辅助应用中,平台可利用获取的多期数据进行可视化对比分析,从而为工程施工建设提供一个远程的施工现场分析,便于施工过程管理

的监管和施工进度的动态调整,如图 4、5 所示,通过同一位置同一个视角的场景差异,明显反映出不同时期的施工现场状态。

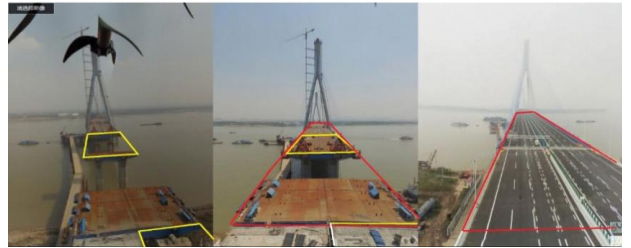


图 4 3 个不同时期的空中全景可视化及变化



图 5 不同时期的施工现场三维场景对比

## 6 结语

360°全景技术是基于图像拼接的低成本虚拟现实技术,近年来在计算机视觉和虚拟现实技术领域中颇受关注。该文提出了一种利用无人机全景技术辅助桥梁施工进度管理的方法,可快速高效对施工现场进行数据采集和处理,直接利用全景可视化平台对施工现场构建高效率、高精度、交互性强且沉浸感强的虚拟现实场景,并准确地反映施工现场实际情况,为施工过程精细化管理和信息化管理提供丰富的可视化信息支持。平台通过显示施工过程中各个阶段的施工现场空中全景和三维场景,不仅可以直观反映施工现场情况是否符合安全文明施工要求等,还可以根据影像为突发灾害制定抢险方案提供帮助,并且将不同施工阶段的施工状态进行对比分析,可有效直观反映施工实际进度情况,便于施工建设管理人员和现场施工人员,按照制定的施工进度计划表对施工计划进行动态调整,有益于提升桥梁施工建设的精细化管理水平,从而保障桥梁施工建设施工管理水平和效率的提升。

### 参考文献:

- [1] 尹恒,裴尼松,余梨. 无人机技术在复杂公路中的应用研究[J]. 中外公路,2018(2).