

通信机房三维建模平台设计及应用

Design and Application of 3D Modeling Platform for Telecommunication Station

刘晓明, 齐少安, 兰文辉 (中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)

Liu Xiaoming, Qi Shaoan, Lan Wenhui (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

为了促进通信行业进入规、建、维、优、营数字化时代,通过分析通信机房三维建模平台的业务需求,总结了通信机房三维建模平台应具有的能力,结合人工智能技术,设计实现了一个从数据采集、三维重建到建模结果呈现的三维建模平台,并详细介绍了平台的实施方案。通过通信机房三维建模平台可生成带属性的三维矢量化模型、带空间尺寸信息的可漫游全景视图、CAD 图纸。平台建模精度达到厘米级,具有良好的开放性、灵活性和技术先进性。

关键词:

人工智能; 三维重建; 数字化; 三维矢量化模型
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.07.008
文章编号:1007-3043(2023)07-0043-06
中图分类号:TN914
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

To promote the telecommunication industry into the digital era of planning, construction, maintenance, optimization and operation, it summarizes the capabilities of the 3D modeling platform for telecommunication station by analyzing the business requirements of the 3D modeling platform for telecommunication station. Combined with artificial intelligence technology, a 3D modeling platform that covers data collection, 3D reconstruction, and presentation of modeling results is designed and implemented, and the implementation plan of the platform is introduced in detail. Based on the 3D modeling platform for telecommunication station, it can obtain the 3D vector model with attributes, panoramic warping with spatial dimension information, and CAD drawings. The modeling accuracy reaches the centimeter level, which has good openness, flexibility, and technical progressiveness.

Keywords:

Artificial intelligence; 3D reconstruction; Digitization; 3D vectorization model

引用格式: 刘晓明, 齐少安, 兰文辉. 通信机房三维建模平台设计及应用[J]. 邮电设计技术, 2023(7): 43-48.

1 概述

随着数字经济的蓬勃发展,各行各业迎来了数字化转型新机遇,“新基建”打破了传统的产业边界,加速了产业间的融合创新。对于通信行业,随着 5G、新基建全面铺开,大量通信机房的数字化管理、维护和升级面临巨大的工作量和高昂的成本。以人工建模的方式实现通信机房的三维数字化,成本高昂且效率低下。急需一种可快速、批量、准确地将通信机房的

核心对象(例如机柜、空调、配电箱、电池组、走线架、门、馈线窗、地面、天花板、墙)进行三维矢量化分割、自动识别,并生成机房核心对象单个个体矢量化模型的三维数字化平台。

随着信息技术的发展,三维重建技术^[1]已日趋成熟,三维技术成果对通信机房资源的呈现更加直观、清晰,其所包含的信息量更丰富,在建设、维护、运营领域具有较高的技术研究和应用价值。通过分析通信机房三维建模平台的业务需求,总结了通信机房三维建模平台应具有的能力,设计实现了一个从数据采集、三维建模到建模结果呈现的三维建模平台。

收稿日期:2023-05-10

2 通信机房三维建模平台业务需求

通信机房查勘、运营维护、新建扩容对三维建模平台有以下几点需求。

2.1 减少上站频次,降低上站成本

在通信机房设计阶段,需查勘人员多次上站进行机房空间尺寸测量,确认是否有空间安装机柜等设备。在通信机房建设验收阶段,需设计单位、施工单位、监理单位多次上站进行施工质量合规性检查和安全检查。进入通信机房手续繁琐、不仅需要事先审批,还需要人员陪同,有些政企机房上站手续更加严格繁琐。频繁的上站,带来巨大的时间成本和人工成本,需要一个能在线预览通信机房实际环境、进行空间测量的平台,用于通信机房预览和空间测量,降低上站作业频次,从而实现降本增效的目的。

2.2 机房三维重建,构建数据底座

运营商一般均建设有资源管理系统,但是资源数据无法与通信机房内部设备对应,不能直观地以通信机房为单位进行管理。期望能够对通信机房内部的单个机柜、空调、配电箱、电池组、走线架、门、馈线窗、地面、天花板、墙进行三维重建,以结构化的数据进行存储,为其他业务应用打造基础数据底座。此外,由于通信机房数量大,三维重建过程不能过于复杂,要求能够批量、自动化地进行通信机房三维重建。

2.3 提升设计效率

当前设计人员进行通信机房新建或扩容时,按照查勘人员手绘查勘信息进行设计,手绘查勘信息精度差。期望能高精度(厘米级)在线实时地对通信机房进行空间尺寸测量,能够有辅助生成CAD设计图纸的工具。

3 平台方案

此前,行业三维信息的生成主要通过3D Camera、激光雷达扫描或人工建模的方式,成本高昂、效率低下,无法大规模推广。随着智能手机、PAD、全景相机等智能硬件技术的发展,多摄像头已成为各类智能终端的标配,为基于图像识别的三维重建技术的推广普及提供了硬件基础,另一方面随着人工智能技术的快速发展,尤其是图像和图形处理技术的进步,三维信息重建技术成为了人工智能领域的研究热点,为三维重建技术的应用提供了软件基础。

本平台采用人工智能技术,利用三维重建技术获得通信机房的三维稠密点云模型,然后利用语义分割技术对场景中的基本元素进行语义识别,结合尺度属性,匹配属性库中的已有属性,输出三维矢量模型。利用拍摄的全景照片,在运动恢复结构估算的位置合成360°全景视图,支持远程在线全景漫游和空间尺寸测量。平台整体方案如图1所示,具体流程如下。

a) 采集员使用全景相机对通信机房进行现场视频和全景照片采集,通过Wi-Fi或者移动网络上传至文件存储服务器。

b) 利用三维重建、语义分割等技术对采集内容进行算法处理,生成通信机房的三维模型、贴图模型、全景漫游。

c) 使用矢量化技术根据语义特性拟合出对应的三维矢量化结构,匹配属性库中的已有属性得到通信机房的三维矢量模型。

d) 利用开发出的审核工具对步骤c)中识别出的三维矢量模型进行人工核查。可对机柜、设备的类型和型号进行标注和分类,扩充标注训练库,实现模型

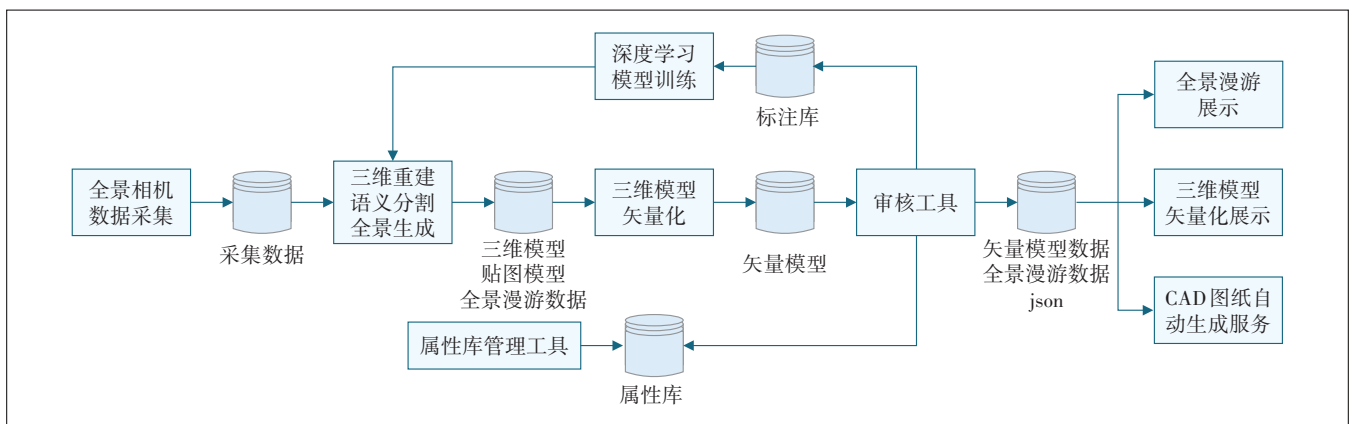


图1 三维建模平台方案

自动化标注和自学习能力。

e) 基于算法建模和识别的三维建模结果, 开发全景漫游展示工具、三维模型矢量化展示工具、CAD图纸自动生成服务从而实现全景漫游、三维矢量化的在线展示和局房CAD图纸的自动生成。

4 平台技术

4.1 三维重建技术

三维重建技术是一种通过图像或视频捕获的视觉信息、定位信息作为输入, 获取场景和物体的三维模型的一种技术方法。它主要通过匹配的特征点来恢复场景或物体的三维点云模型, 再通过网格构建技术从三维点云模型中提取场景或物体的三维几何结构。基于三维重建算法可以生成三维点云模型、带纹理的三维网格模型及全景漫游, 其中三维模型均包括通信局房内部安装的实体对象的长宽高、基准点坐标、方向等空间定位信息。

主动光三维重建^[2]一般由结构光源发射和接收进行成像, 例如激光扫描法、结构光法、阴影法以及TOF技术、雷达技术等, 但是通信局房中机柜是最主要设备, 柜门多为镂空, 如果采用主动光三维重建会造成接收的光信息中缺失特征点, 建模结果出现较大空洞, 严重影响建模效果和精度^[3]。因此本平台采集用被动光三维重建技术进行通信局房三维建模。被动光三维重建流程如图2所示。

4.1.1 运动恢复结构技术^[4]

运动恢复结构技术是利用相机拍摄的图像序列中的每两幅不同视角图像, 通过图像间的特征点匹配来求解基础矩阵和本征矩阵, 从而求解出图像对对

应的相机在三维空间中的相机姿态, 通过三角测量原理将匹配的特征点投影回尺度未知的三维空间中来生成稀疏三维点云。算法处理流程如下。

a) 根据采集的图片序列利用SIFT^[5-6]算法进行特征提取。

b) 对2幅图像中的特征点进行匹配^[7], 正确匹配的特征点对应着实际场景中的同一个点。

c) 根据匹配的特征在图像中的位置和相机内参计算拍摄2幅图像的相对位置和朝向。利用所有的两两图像对之间的相对位置和朝向计算出所有图像在一个统一坐标系下的相机位置和朝向, 得到相机位姿。

d) 根据相机位姿, 通过三角化计算出图像之间相互匹配的特征点在空间中的三维坐标, 得到场景的稀疏三维点云模型。

4.1.2 稠密三维重建^[8-10]

稠密三维重建是在相机位姿已知的前提下, 逐像素地计算图像中每一个像素点对应的三维点, 得到场景物体表面密集的三维点云, 相较于稀疏点云, 稠密重建后的点云更加完整, 能够清晰表达物体的结构。算法处理流程如下。

a) 根据4.1.1节中计算的相机位姿利用稠密立体匹配技术恢复图片序列中每一张图片的深度图。

b) 根据4.1.1节中计算的相机位姿将图片序列的深度图融合成稠密三维点云。

c) 利用表面网格提取技术从稠密三维点云中抽取场景的稠密三维网格。

4.1.3 纹理贴图^[11]

a) 利用多个视角的图像序列和4.1.1节中计算的

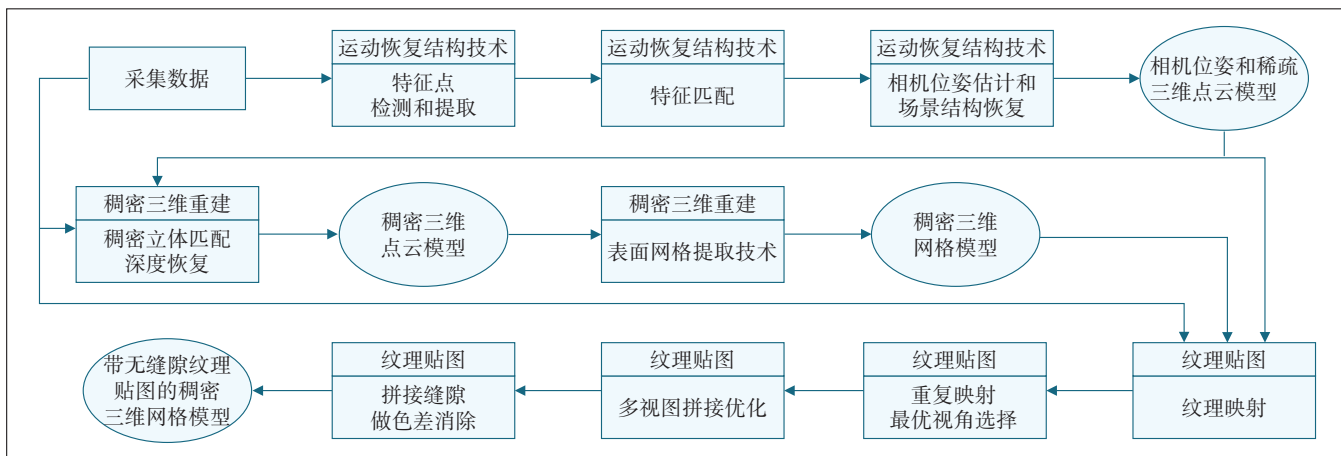


图2 三维重建流程

相机位姿对4.1.2节计算出的稠密三维网格模型做纹理映射。

b) 对重复映射的视角图片集做最优的视角选择。

c) 利用多视图拼接优化技术获得稠密三维模型的无缝拼接纹理映射坐标。

d) 对纹理图像的拼接缝隙做色差消除, 获得带无缝隙纹理贴图的稠密三维网格模型。

通过三维重建可以实现通信机房内机柜、空调、配电箱、电池组、走线架、门、窗等面信息的自动化采集, 三维重建过程实例及结果见图3。



图3 三维重建过程实例及结果

4.2 三维空间语义分割

在对通信机房及其内部设施完成三维重建后, 还需要对三维模型进行语义分割, 从而将三维空间中的模型与实际的业务逻辑实体关联起来, 实现后续预览、设置属性、图纸生成等业务应用。

三维语义分割^[12-13]是指将场景中的三维模型基本元素进行语义分割, 实现对场景内容信息高维度的理解。使用深度学习中全卷积的网络结构, 以先编码再解码的方式, 实现对任意大小的图像输入的语义分割, 网络结构中的多尺度信息融合设计可以让网络对于场景中同一个物体的尺度变化具有更强的鲁棒性。另外, 配合所设计的半自动语义标注器, 可以在现有模型识别结果的基础上对新场景进行快速标注, 将标注后的新场景扩充到现有标注库中, 然后利用扩充后的标注库训练和更新深度学习网络模型^[14-16], 从而获得更好的识别性能。通过将三维点云与语义分割能力结合, 实现了对通信机房的语义分割, 本平台的语义分割识别内容有门、窗户、走线架、机柜、电池组、配电箱、立式空调、壁挂式空调、柱子、馈线窗、监控设备、防雷箱、接地排、电表箱。通信机房三维语义分割实例及结果如图4所示。

4.3 三维模型矢量化

在对通信机房三维模型进行语义分割后, 虽然将三维空间中的模型与实际的业务逻辑实体进行了关联, 但是得到的结果本质上类似栅格数据, 不带有属



图4 三维语义分割实例及结果

性信息。需要对三维重建结果进行重构, 对通信机房中的核心对象(例如机柜、走线架等设备)进行自动识别, 获得通信机房的核心对象的单个个体的矢量化模型。

本平台基于语义特性拟合的三维矢量化技术获得通信机房的核心对象的三维矢量化结构。基于附加属性的矢量化方法, 即根据属性库提供的对象(例如机柜)型号、排列顺序和从属组别, 在三维空间上对矢量化的模型进行再拟合, 获取实例级的三维对象矢量化结构。

三维对象矢量化流程如图5所示, 处理流程如下。

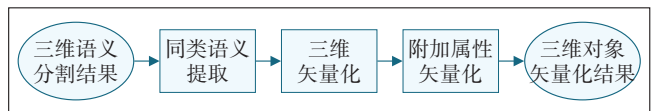


图5 三维对象矢量化流程图

a) 根据4.2节三维语义分割的结果, 提取场景模型中同类语义区域。

b) 对于每一个区域目标根据其语义特性拟合出对应的三维矢量化结构。

c) 基于附加属性的矢量化方法, 即根据属性库提供的对象(例如机柜)型号、排列顺序和从属组别, 在三维空间上对矢量化的模型进行再拟合, 获取实例级的三维对象矢量化结构, 并匹配三维对象的标准模型。

基于不同语义的核心对象要采用适合自身语义属性的不同矢量化方法。经过三维模型矢量化后, 用户可与通信机房中的核心对象进行交互操作, 例如选择某一个机柜、移动机柜的位置等, 得到的通信机房三维矢量化实例及结果如图6所示, 比较图6(a)与图6(b)、图6(a)与图6(c)可以看出, 三维矢量化结果与机房实际情况相符。

4.4 带空间尺寸信息的可漫游全景视图

本平台生成的通信机房全景漫游, 支持定点的全景视角浏览、任意2个全景定点之间沉浸式的三维视角漫游和空间尺寸测量。

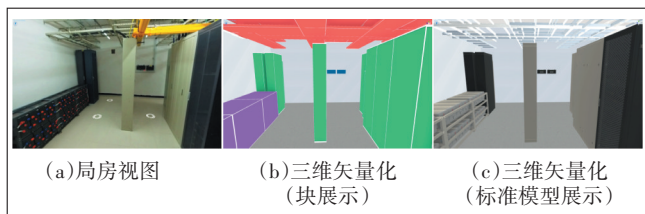


图6 三维矢量化实例及结果

算法流程如下。

a) 对于每帧输入的照片,在运动恢复结构估算的位置合成 360°全景图,支持全景视角浏览。

b) 对于任意2个全景图视点之间,利用三维模型生成2个视点的全景图映射,并在视点漫游过程中对三维模型进行浏览,同时加载视点间淡入淡出效果,实现2个视点的全景图映射的渐变效果,从而实现沉浸式的三维视角漫游。

通信局房全景漫游如图7所示,无需上站即可在浏览器中查看通信局房的实际情况以及对局房空间进行尺寸测量。

4.5 CAD 自动生成服务

本平台能够实现通信局房CAD图纸自动生成,可极大地降低设计人员的工作量。

算法流程如下。

a) 利用4.3节三维矢量化结果,获得通信局房中各种对象的位置信息、长宽信息及其他对象属性信息。

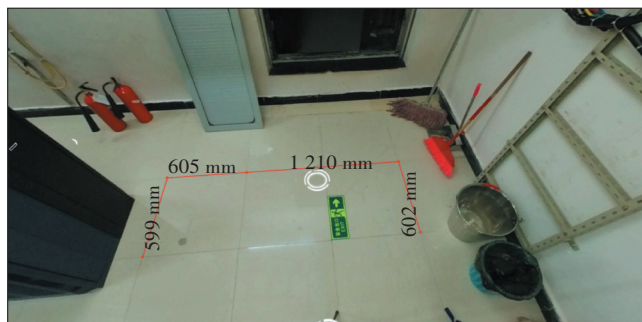


图7 全景漫游

b) 使用 ezdxflib 库根据步骤 a) 中的信息自动生成机房的CAD图纸。

平台生成的通信局房CAD图纸如图8所示。

5 平台指标

为了更好地评判通信局房三维建模平台的三维重建效果,平台设计了3类指标。

指标类别1:通信局房的平均采集时间、三维模型矢量化成功率、全景漫游生成率。

指标类别2:通信局房中单个机柜、空调、配电箱、电池组、走线架、门、馈线窗、地面、天花板、墙的自动识别及属性匹配成功率。

指标类别3:识别出的机柜对象中满足尺寸绝对误差<5 cm或相对误差<2%的占比。

使用平台对某运营商的1000个通信局房进行三维建模,随机抽选200个局房,统计指标类别1,随机抽

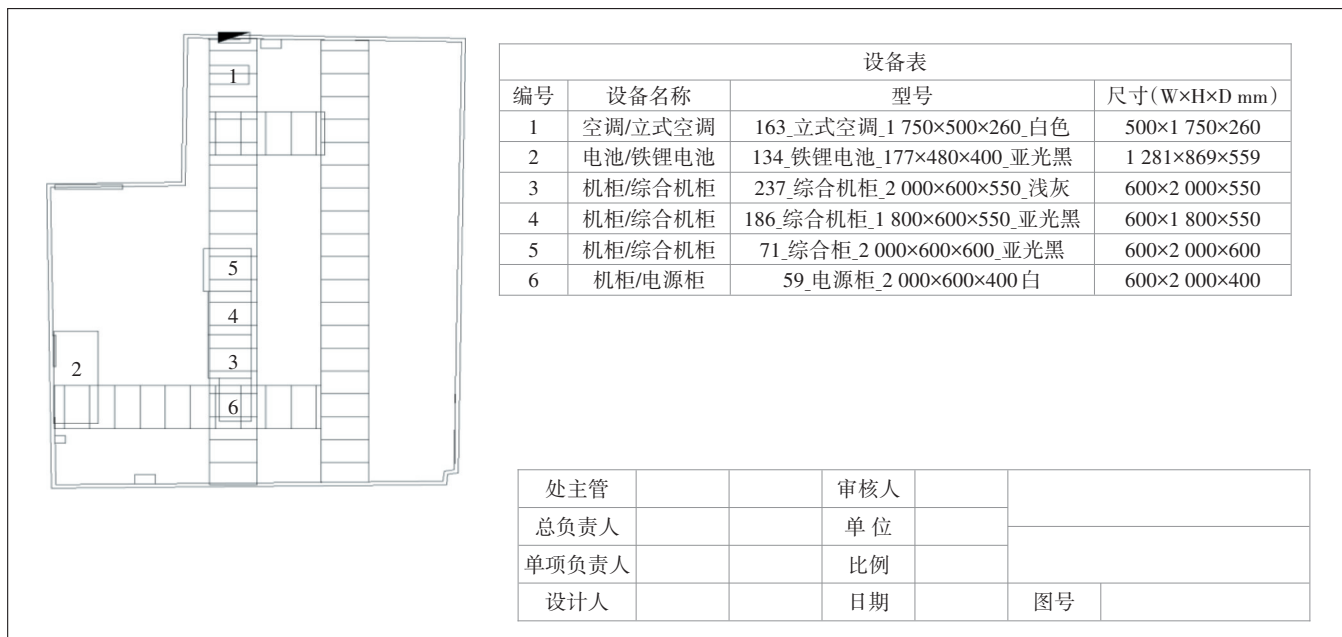


图8 通信局房CAD图纸

选50个机房,统计指标类别2和指标类别3,平台指标统计结果见表1、表2和表3。

表1 采集时间、三维模型矢量化成功率、全景漫游生成率

200个通信机房的平均值	平均采集时间/min	三维模型矢量化成功率/%	全景漫游生成率/%
	5	95	100

表2 对象自动识别及属性匹配成功率

对象种类	对象总数/个	正确识别的对象数/个	识别成功率/%
单个机柜	355	338	95.21
空调	89	81	91.01
配电箱	80	68	85.00
电池组	110	103	93.64
走线架	227	195	85.90
门	48	46	95.83
馈线窗	39	36	92.31
地面	50	50	100.00
天花板	50	50	100.00
墙	50	50	100.00

表3 尺寸精度

识别出的机柜总数/个	满足尺寸绝对误差<5 cm或相对误差<2%的机柜占比/%
355	100

从表1中可看出平台的数据采集速度快,全景漫游生成率为100%,三维模型矢量化成功率为95%。

从表2可以看出,平台自动识别出的带属性信息的10种对象中,有10种对象识别成功率在85%以上,有8种对象识别成功率在90%以上,对象识别成功率满足业务上的要求。

从表3可以看出,平台识别出的单个机柜的尺寸误差在厘米级,符合通信设计行业对误差的要求。

6 应用案例

平台提供的三维建模服务已在中国联通和中国铁塔5 000个通信机房数字化运维管理中得到了应用,后续将应用于运营商上百万通信机房的数字化管理运营。

7 结束语

借助于三维全景相机等硬件设备及三维重建、三维语义分割、三维模型矢量化等人工智能技术,针对大规模的通信机房及其设施的数字化工作,开发了通信机房三维重建平台,并在电信运营商的机房数字化

管理中得到了应用。人工智能技术是实现通信机房三维智能化平台的技术主导,通过人工智能技术,替代了大量原来需要高级技术人员才能够完成的勘察、信息收集、信息提取整理等工作,从而完成了人工手段不可能解决的超大规模通信机房资源的数字化工作。通过人工智能技术,能够快速生成标准化通信机房实例级的三维对象矢量化结构数据,满足业务系统三维可呈现、可编辑、可识别的需求,为大量的通信机房叠加上层应用提供了数字化基础。

参考文献:

- [1] 郑太雄,黄帅,李永福,等.基于视觉的三维重建关键技术研究综述[J].自动化学报,2020,46(4):631-652.
- [2] MADA S K, SMITH M L, SMITH L N, et al. Overview of passive and active vision techniques for hand-held 3D data acquisition [C]//Proceedings Volume 4877, Opto-Ireland 2002: Optical Metrology, Imaging, and Machine Vision. Galway, Ireland: SPIE, 2003: 16-27.
- [3] 王政,竹梦圆,武欢,等.人工智能技术在通信工程数字化设计中的应用[J].邮电设计技术,2021(6):29-34.
- [4] 杨阳.基于双目视觉的运动恢复结构[D].成都:电子科技大学,2016.
- [5] MARKEL J. The SIFT algorithm for fundamental frequency estimation [J]. IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, 1972, 20(5): 367-377.
- [6] 刘立,彭复员,赵坤,等.采用简化SIFT算法实现快速图像匹配[J].红外与激光工程,2008,37(1):181-184.
- [7] 陈炎,杨丽丽,王振鹏.双目视觉的匹配算法综述[J].图学学报,2020,41(5):702-708.
- [8] 彭科举.基于序列图像的三维重建算法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2012.
- [9] 王琳,贾金于,韩亦扬.基于计算机视觉的三维重建技术综述[J].农村经济与科技,2017,28(10):260.
- [10] 任飞,常青玲,刘兴林,等.基于点云的室内结构三维重建综述[J].计算机科学,2022,49(11A):211000176-11.
- [11] 向卓龙,张启灿,吴周杰.结构光投影三维面形测量及纹理贴图方法[J].光电工程,2022,49(12):220169.
- [12] 景川.基于深度学习的三维点云语义分割研究[D].西安:西安电子科技大学,2019.
- [13] 杨军,李博赞.基于自注意力特征融合组卷积神经网络的三维点云语义分割[J].光学精密工程,2022,30(7):840-853.
- [14] 施泽浩,赵启军.基于全卷积网络的目标检测算法[J].计算机技术与发展,2018,28(5):55-58.

作者简介:

刘晓明,工程师,硕士,主要从事软件开发工作;齐少安,教授级高级工程师,硕士,主要从事软件开发工作;兰文辉,高级工程师,硕士,主要从事软件开发工作。