

三维激光扫描与增强现实技术在 虚拟场馆建设的应用

张必胜^{1,2}

(1.中国地质大学(武汉)地球科学学院 湖北 武汉 430074;2.福建省国土测绘院 福建 厦门 361013)

摘要:文章研究基于三维激光与 AR 增强现实技术的智慧旅游微缩模型场景建设.以矿山公园虚拟场馆旅游为实例,使用高精度三维激光仪器,对矿区典型景区进行三维建模,打印出精确的 3D 微缩景观模型,并在 3D 模型的基础上开发出增强现实导览系统.游客使用手机扫描模型标签时,自动激活增强现实解说系统,大大增强游览的体验性、交互性和趣味性.该技术在景区模拟讲解、博物馆游览、旅游会展、旅游景区营销、休闲房产营销、高尔夫会所营销、旅游规划等方面也有着巨大的应用潜力.

关键词:生态旅游;微缩景观;增强现实;3D 立体打印

中图分类号:P237 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2017)02-0040-07

Three dimensional laser and augmented reality technology in the application research of based on virtual venue construction

Zhang BiSheng^{1,2}

(1.School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Fujian Land Surveying and Mapping Institute, Xiamen 361013, China)

Abstract: The wisdom tourism of miniatures scene building was studied by using 3D laser based on augmented reality technology. The mine park virtual venue as an example, the use of high precision 3D laser instrument, three-dimensional modeling is built that of the typical scenic, the miniature ecological landscape model is accurately 3D printed out, and the augmented reality navigation system was developed based on the 3D model. Visitors use mobile scanning model tag, automatic activation of augmented reality interpretation system, greatly enhance the experience of travel, effectively promote the tourism interactive and interesting, and in the area of simulation on the museum tour, tourism, exhibition, tourism scenic spot marketing, leisure real estate marketing, golf club marketing, tourism planning plays an important role.

Keywords: ecological tourism; micro landscape; augment reality; 3D printing

矿山公园是国家建立在矿产遗址的旅游公园.目前全球地矿产资源日益枯竭,地面环境逐步恶化,而矿山公园对促进环境保护具有重要意义,同时也具备旅游服务及地质研究价值^[1-2].传统的旅游多为现场讲解和观摩.现场讲解存在人力成本高,单次受众数量有限,受天气影响大,某些重要古迹或特殊地形地貌游客无法亲临现场等不利因素^[3-5].

收稿日期:2016-03-03

基金项目:科技部支撑计划资助项目(2012BAC16B04);福建省自然科学基金资助项目(2016J01199);福建省煤田地质局Ⅲ类科研资助项目(闽煤地科字[2015]38号)

通信作者:张必胜(1971-),男,湖北长阳人,博士生,高级工程师,注册测绘师,主要从事地理空间信息获取与应用研究.E-mail:13634305@qq.com

采用定制模型进行展示,模型成本昂贵,定制时间长;使用虚拟现实模拟导游技术可以投影不同场景,但也存在明显的缺陷^[6]。首先,虚拟现实是完全由计算机投影形成的影像,没有模型作为依托,缺乏真实感;其次,虚拟现实旅游系统不够逼真,常碰到商家拖延更新的情况,导致旅游虚拟现实系统不实用,成为“面子”工程;再次,虚拟现实需要给每个游客佩戴专门的 3D 眼睛等设备,复杂而难以推广。

通过三维激光与增强现实技术,建立矿产公园旅游微缩模型场馆,辅以精细、逼真、互动的三维立体展示系统,对矿山公园地形进行激光三维采集、建模及贴图处理,打印成 3D 模型场景,配套增强现实导览系统,将给游客带来了新的体验,给旅游景区增添了新的活力。

基于三维激光与增强现实技术建立的智慧旅游系统和场馆,其应用领域和范围不断扩大,如秦兵马俑二号坑的三维数字建模项目和圆明园的三维建模项目,同时该项技术成果在文物数字化保护、土木工程、工业测量、自然灾害调查、数字城市地形可视化、城乡规划等领域具有广泛的应用价值。对于矿山公园的三维建模,3D 打印技术方法和应用,目前国内研究较少。

三维激光扫描技术是激光应用研究的一项重大突破,与传统的单点测量方法相比,具有高精度、全数字化、测量方式灵活等特点,能够快速、精确、无接触地完成对复杂危险的局部地区进行精细地形测量,一秒可获取上百万三维坐标点,形成可测量的点云数据,高效地对场景进行三维建模和虚拟重现^[7-13]。增强现实技术(简称 AR),是在虚拟现实基础上发展起来的新技术,是通过计算机系统提供的信息增加用户对现实世界感知的技术,在移动端开发的移动 AR 系统生成的虚拟物体、场景或系统提示信息叠加到真实场景中,能有效拉近游客与现实场景的距离,从而实现对现实的“增强”。

1 虚拟场馆系统的设计思路和特点

1.1 三维激光构建虚拟场景设计思路

文章研究了高精度激光三维地形扫描及建模,以广西雷公岭国家矿山公园和合山国家矿山公园为例进行系统开发。三维激光技术的可以远距离无接触地对景区关键景点进行扫描,高精度还原景区的原貌,并构建局部等比例高精度 3D 模型。采用增强现实技术创建的虚拟导游系统则可以使用带摄像头的运动设备或者 Google 眼镜等,直接扫描 3D 模型即可实现相关的附加信息,如视频文字或者音频,大大地丰富了游览效果,对科学研究和测量有着重要的意义。

如图 1 所示,公园三维建模及 3D 打印及增强现实流程是:用高分辨率激光三维扫描仪,对矿区公园地形景观进行全视角扫描,单站扫描只需很短时间,即可得到景区精确的、可量测的 3D 点云数据^[14-17]。经过 GEOMagic,3D MAX 和网络医生对点云数据进行修复优化处理,并对点云数据模型进行贴图,生成可直接 3D 打印的 STL 数据格式,打印景观微缩模型。使用该地的遥感数据或 GIS 数据把模型精确地、等比例地放置到相应的位置,构建出精确的 3D 模型展示馆。

经过激光扫描和 3D 打印输出的景观微缩模型是精确的、可量测的模型,在三维模型打印完成后,使用模型组建矿区公园旅游微缩场馆^[18-19]。为增强场馆讲解体验,课题融入了新的智慧旅游技术——增强现实讲解技术。使用 JAVA 和增强现实 SDK 开发出基于手机及 IPAD 平台的 APP 程序,让用户感受智慧旅游体验。虚拟导游系统直接以微缩模型的原型为图形标识,使用 3max 或者其他 3D 软件来构建 3D 动画讲解,把讲解录制在系统中。游客使用导游系统时打开摄像头,用摄像头扫描微缩模型,可以直接识别扫描的图形标识,自动激活相应的动画讲解过程,也能激活相关的旅游交互程序,从而提高了游客的旅游兴趣,增强了游览的兴趣体验。

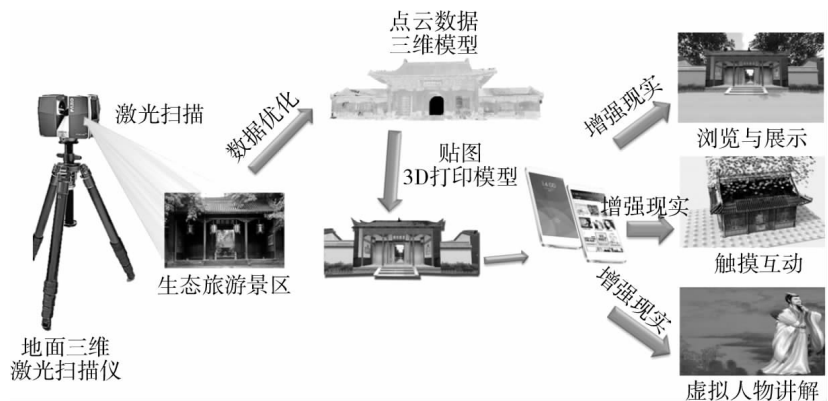


图 1 公园三维建模及 3D 打印及增强现实流程图

1.2 三维激光硬件选型

1) 手持三维激光扫描仪

手持三维激光扫描仪 Creaform HandySCAN300;

测量速率 205 000 次测量/s;

扫描区域 225 mm×250 mm;

光源 7 束交叉激光线;

分辨率 0.100 mm;

精度最高 0.040 mm;

体积精度 0.020 mm+ 0.100 mm/m.

2) 场景高精度三维激光扫描仪

采用三维激光扫描仪 FARO FOCUS 3D X130;

测距单元扫描距离 Focus3D X 130(1): 0.6~130 m;

测量速度(点/秒): 122 000 / 244 000 / 488 000 / 976 000;

测距误差(2): ±2 mm.

3) 3D 打印机设备

平台使用的 3D 设备使用树脂材料;单层打印厚度≤0.05 mm.对高精度模型,可采用国外 3D system 或 Stratasys 等公司产品,其设备价格较高,但是打印精度较高.对于普通旅游景区模型,采用国产品牌 CONTEX(ZCORP)等的产品,其设备价格相对较低,但是精度和质量略逊于国外品牌.

1.3 三维激光的技术特点和难点

非接触性:生态旅游景区的扫描建模一般不允许直接测量和接触,测量对象是在漫长的地质历史中形成的,千姿百态.部分景观性质较脆,很易损坏,不允许接触性测量,激光的非接触特性可以有效地防止测量过程中对生态景观的损坏.

快速性:传统的测量方法工作量巨大,而且效率低下.三维激光扫描仪一站测量用时约 5~10 min,测量速度快,效率高,景区一般人流量大,采用三维激光扫描仪测量可以很好地解决该问题,不影响游客参观及景区的正常运营.

适宜黑暗环境特性:由于地下没有自然光,在传统测量过程中还要有专门的照明设备.三维激光扫描仪可以发挥其最适宜在没有可见光情况下测量的优势,没有了自然光的干扰测量精度反而更高.

测量信息的丰富性:在测量一些不规则物体时,传统测量发挥不了作用.采用三维激光扫描仪在对不规则物体的测量建模时,在点云的大数据量的支持下,模型无论是精细程度还是真实还原性上都得到了大大的提高.

2 虚拟场馆制作与系统开发

2.1 场馆三维点云数据的快速获取

采用 FARO Focus 3D 扫描仪获取三维点云数据的基本流程如下:

- 1) 架设扫描仪,调整扫描仪的水平及重力参数,设置扫描速度、精度等参数.
- 2) 对扫描仪进行配准.
- 3) 铺设靶球,清除场内游客.
- 4) 开始扫描.

进行参数分辨率和质量的选择,是一个关键的步骤,关系到点云数据的精细程度,分辨率和质量越大点云密度越高,扫描就越精细,每站所花费的扫描时间也更长.一般这个参数根据需要来选,参数设置界面详见图 2.



图 2 三维激光扫描仪参数设置界面

2.2 场馆三维点云数据处理

为了得到逼真的三维模型,在 FARO Focus 3D 扫描仪获取的三维点云数据的基础上,如图3所示激光三维建模点云数据,采用 Gemagic 及 3D Max 软件分别进行点云编辑及贴图处理,详见图4所示点云数据处理流程.在 Gemagic 软件进行点云编辑的处理步骤包括:

- 1) 把采集到的点云数据从 SD 卡复制到电脑.
- 2) 使用 Gemagic 软件优化、修复三维点云数据.
- 3) 使用网格医生优化模型.

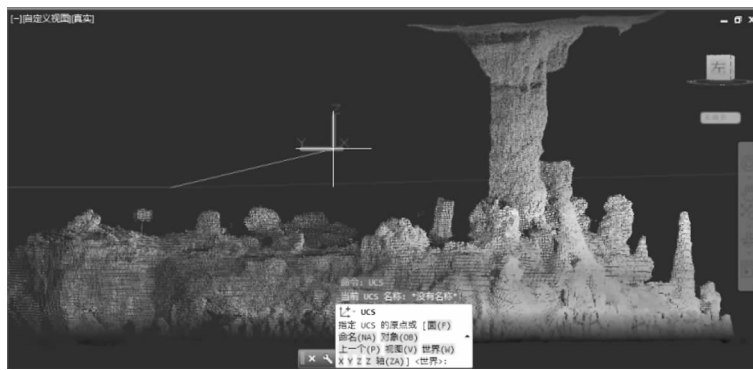


图3 矿山岩洞激光三维建模点云数据

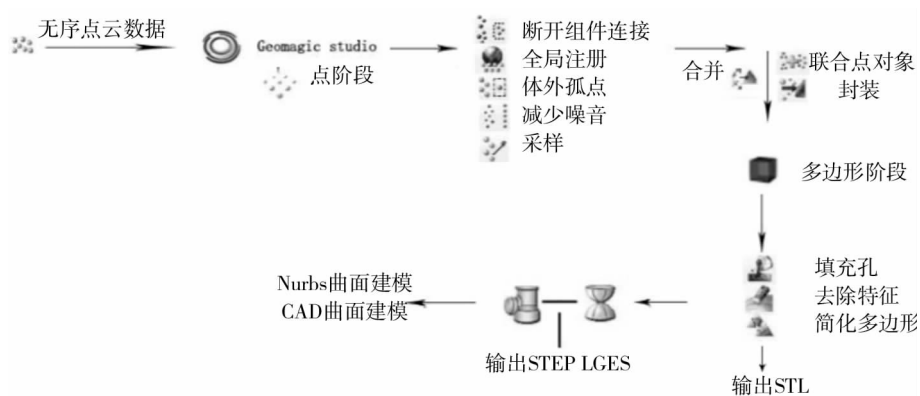


图4 点云数据处理流程图

当前大部分的点云建模软件都是依赖于传统的建模软件上的插件,如 Pointcloud、HModeling 和 Cloudworx,这几个软件都是基于 CAD 上的插件用来辅助建模,桂林生态旅游景区建模所使用的是 HModeling 软件,在该软件的支持下可以对模型进行切片处理.对于点云建模,大部分用的还是 CAD 和 3DMAX 等专业建模软件的建模功能,这些功能将对建模质量起到决定性地作用.

模型的贴图处理是为了使模型看起来更逼真,达到栩栩如生的效果,给三维几何模型(点云)贴纹理,即纹理映射.纹理映射是提高模型视觉真实感的重要手段,是三维场景重建中一个重要技术环节.纹理映射是一种从二维纹理图像到三维物体表面的映射,即将纹理空间中的坐标(u, v)及其对应的颜色(或光的强度)映射到相应的三维物体的表面上,从而得到彩色的物体表面.

在贴图方面,使用 3DMAX 或者 MAYA 等软件进行贴图,要完成真实且详细的贴图,即对模型进行面分离,也就是所谓的展 UV.UV 定义了图片上每个点的位置的信息.这些点与 3D 模型是相互联系的,以决定表面纹理贴图的位置.在展完 UV 后就可以对模型进行对应位置的贴图.

将照片文件存入 3DMAX 根目录下面,进行材质制作.然后将模型上所要贴图的部分进行面分离后赋予其一个 ID,然后根据不同部位的贴图表现,设置面投影方式,并将照片材质赋予它们,进行旋转、移动、缩放、渲染等调整,映射在模型上,最后输出模型和贴图数据.

2.3 场馆微缩模型 3D 打印

3D 打印技术与传统的加工方式不同,是在现代 CAD/CAM 技术、激光技术、计算机数控技术、精密伺服驱动技术以及新材料技术的基础上集成发展.通过分层制造,逐层叠加的方式生产最终产品.快速成型技术的特点是不需要模具,可以一次加工完成.3D 设备使用树脂材料;单层打印厚度 ≤ 0.05 mm,平台针对不同用户需求,配置不同类型的设备;对高端用户需求,可采用国外 3D system 或 Stratasys 等公司产品,对高校、科研院所等客户培训和教学方面的需求,可采用 Stratasys 公司的网络教学包,更适合进行行业推广;对低端客户需求,采用国产品牌 CONTEX(ZCORP)等的产品.图 5 为 Stratasys 公司生产的打印机输出的地质公园 3D 地表模型.

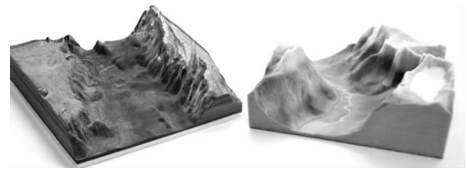


图 5 3D 打印机输出的公园地形模型

2.4 场馆移动 AR 开发关键技术

增强现实利用三维虚拟技术将讲解员外形、声音移植到互联网或者手机、平板电脑等移动平台上进行展示、讲解,突破了传统意义上的时间与空间的局限,使用 JAVA 语言开发基于安卓平台的场馆移动 AR,实现的关键技术包括:

1) 录制增强现实虚拟讲解人物模型及声音解说、文字介绍进行三维模型的构建,以及后期的音效设计、字幕说明、展示动作设计、交互动作设计,到最终的平台发布.拟利用 3DMAX 进行外部模型和内部空间的制作,利用 Unity3D 技术进行互动设计,实现系统交互功能.接下来,将模型和贴图进行优化,并增加相应的粒子系统、渲染效果,改进虚拟人物展示效果.给模型加上灯光、阴影及反光等效果,将模型导入到 Unity3D 平台中,制作其他的各种效果渲染到纹理,使模型有真实的影音效果.

BehaviourScript.cs(增强现实交互代码)

```
void Start() {
//新建一个 hash 表,保存 iTween 所用参数
Hashtable args = new Hashtable();
//如移动的特效,先震动再移动、先后退再移动、先加速再变速等
args.Add("easeType", iTween.EaseType.easeInOutExpo);
args.Add("speed", 10f);
//移动的整体时间.如果与 speed 共存,则优先 speed
args.Add("time", 1f);
//颜色处理
args.Add("NamedValueColor", "_SpecColor");
//延迟执行时间
args.Add("delay", 0.1f);
//移动的过程中面朝一个点
args.Add("looktarget", Vector3.zero);
//处理移动过程中的事件.
//开始发生移动时调用 AnimationStart 方法,5.0 表示它的参数
args.Add("onstart", "AnimationStart");
args.Add("onstartparams", 5.0f);
//设置接受方法的对象,默认是自身接受,这里也可以改成别的对象接受,
//那么就必须在接收对象的脚本中实现 AnimationStart 方法.
args.Add("onstarttarget", gameObject); }
```

2) 以图像为载体的数字水印技术标记 Mark 图像,使用 Mark 识别法实现三维注册.采用最不重要比特网法对原始内容图像进行处理.首先获得 3 个点在显示器坐标系中的坐标,利用 Robert M. Haralick 所提出的算法可以计算出这 3 个顶点在摄像机坐标系中的对应点的坐标,Robert M. Haralick 的算法可以得到 4 组可能的对应点坐标集合.

接着,对 4 组可能的解,分别求取对应的投影变换矩阵.

可以将特征图形坐标系与显示器屏幕坐标系的变换关系转化为下式:

$$h \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ 0 & C_{22} & C_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{CT} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

式中:矩阵 \mathbf{C} 为摄像机的内部参数矩阵,摄像机定标后为已知参数;矩阵 \mathbf{T} 为待求的变换矩阵.使用平面几何知识建立 3 个可见点组成的平面坐标系.设显示器屏幕坐标系与特征图形坐标系的变换矩阵为 \mathbf{T}_1 ,那么 \mathbf{T}_1 可以表示为

$$\mathbf{T}_1 = \begin{pmatrix} u_x & u_y & u_z & P_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

3) 动态设置素材的亮度值和添加阴影,实现虚实融合的光照一致性.对采集到的图像进行亮度分布分析处理,根据亮度的均值配置三维素材的色泽和亮度,提高增强现实环境的沉浸感;根据亮度分布情况判断出环境光照的方向,生成真实物体和虚拟场景之间的阴影和虚拟场景之间的阴影.

4) 结合基于三维人手模型建立算法.设计手势库的手势交互和碰撞检测的人机交互体验.首先,对人手进行三维建模,采用 Sudderth 将整个人手由 27 维简化为 15 个 6 维的指节,巧妙地把人手“拆零”跟踪,接着根据手指之间的约束关系,“装配”完整的人手.此方法实现对人手各个手指的精确跟踪,提高了手势跟踪和识别的效率.

2.5 移动 AR 系统构成

虚拟导游系统主要模拟了游客旅游过程中的各个部分,虚拟导游系统包括虚拟多视角旅游,景区内线路导游,虚拟人物讲解视频播放,景区内部结构透视等方式,让游客获得多视角的体验.虚拟导游系统也包含了历史文化讲解模块,现场讲解模块,导游培训模块等.

虚拟导游系统的构建流程:首先进行模型布局的设定;其次,进行交互模块的设计,在漫游游览模块中,可自由切换动画,自主模块中游客可以自由选择游览方式,模拟游览中的虚拟环境;再次是音频视频交互环境的设计,包括了背景音乐,立体 3D 音效,模拟动画声音,导游解说词等;还有该景点的所有历史、人文等主题内容;最后是交互界面的设计,主要通过触摸,让游客进行场景的切换,热点的选择.通过屏幕上面的虚拟镜头,用户可以虚拟游览整个场景.

三维虚拟导览系统的虚拟交互模式有三维场景游览与控制技术、媒体嵌入技术以及动画嵌入技术等.

1) 三维场景游览与控制技术.虚拟现实软件和游戏引擎都会提供一套场景漫游的解决方案,开发者无需编程即可实现场景的漫游交互.如增强现实软件中,使用电脑游戏常用的控制模式:“W”“A”“S”“D”或小的方向键盘进行控制,操控游客前进、后退和左右及放大缩小.

2) 媒体嵌入技术.虚拟现实平台中,可以对 flash 动画、全景图、音频进行直接的嵌入.环境音效的添加可以通过选中发声的物体模型,在其属性中的 3D 音效面板中为其添加声音文件并设置声源参数;背景音乐和解说语音都可以通过脚本实现,一般在 UI 中的按钮属性上插入“音乐”组的脚本命令.

3) 增强现实动画技术.增强现实动画技术可以在三维软件中制作,也可以后期在虚拟现实软件中制作.可以在 3Ds Max 中,选择合适的视角并创建场景,沿导游路线绘制相机运动路径,使用路径约束创建摄像机路径动画.全景图的合并可以在拍摄后通过第三方软件完成,如 Photoshop, Panorama Softwares, Realviz Stitcher 和 KolorAutoPano Giga 等.缝合后的全景照片可以生成 exe 或者 flash 格式的交互文件,方便网上发布.

三维激光与增强现实技术很好地服务于广西旅游.如桂林靖江王府国家 5A 级景区,利用增强现实旅游系统,向游客展示王城历朝历代的各位王爷的立体造型,服饰配饰,展示朝廷上朝的虚拟动画场景.对于某些无法完全恢复原貌的景区如甑皮岩,广泛使用增强现实技术,重现古代人生活的各个精彩场景.在兴安灵渠,增强现实技术在用户智能手机上直接展示古代灵渠建筑过程及水渠分水原理.北海老街景区用增强现实设备展示北海老街 200 多年来经历的繁华与没落.结合三维激光扫描测量,对漓江生态旅游景区的激光三维建模,制作成 3D 模型场景,生成增强现实的导览系统.建立漓江流域的生态旅游微缩模型场馆,结合游客游览习惯分析,开发出真正让游客感叹的、具有细腻体验感受的增强现实场景.

在广西雷公岭国家矿山公园和合山国家矿山公园项目建设中,系统以国家矿山公园为数据采集点,通过三维扫描及数据输出后,生成矿山公园内两处山脉的3D打印微缩模型,山脉微缩模型长度为50 cm,在关键的景点做了数据标记,用户手机扫描经过时,激活基于手机端导览及教学系统。

3 结论

1) 便于快速、低成本地制作复杂的景区模型3D微缩模型。通常旅游景观模型价格昂贵,占地面积大,且定制模型需要数月。基于三维激光的3D打印模型,可以随意定做微缩模型,可把地形模型做到40 cm×20 cm,从扫描建模需要3~6 h,打印模型通常只花费1~2 h,能以最快的速度建立景观微缩场馆。

2) 极大地方便了旅游教学及多个展示场合。三维激光技术能快速建立模型而且性价比高,可以应用于景区营销,旅游地产宣传,高尔夫球场营销,模拟导游教学,游艇销售等各个领域。

3) 便于普及基于手机端的导游、销售、教学、讲解等增强现实虚拟系统。增强现实系统是运行在用户手机或者IPAD平板电脑上的虚拟解说软件,无论是讲解员还是游客,无需配备3D眼睛、无线头盔、穿戴设备以及电脑等设备,节约大量成本,提升旅游品质。

4) 增强了用户和景区的互动交流。用户只需要通过智能手机即可直接观览到景观原貌。地质公园使用增强现实旅游系统向游客展示矿区开采的虚拟场景,用动画方式重现各种采矿设备的运转过程,通过手指触控方式直接与公园虚拟人物进行交流。

参考文献:

- [1] 张亚.三维激光扫描技术在三维景观重建中的应用研究[D].西安:长安大学,2011.
- [2] 何原荣,朱健军,余德清.基于3D GIS 矿山公园环境监测预警系统集成与发布[J].自然灾害学报,2014,23(1):132-137.
- [3] 徐晓雄,刘松林,李白.三维激光扫描测量技术及其在测绘领域的应用[J].中国测绘,2009(2):63-65.
- [4] 贾东峰,程效军.三维激光扫描技术在建筑物建模上的应用[J].河南科学,2009,27(9):1111-1114.
- [5] 周立,李明,毛晨佳,等.三维激光扫描技术在古建筑修缮测绘中的应用[J].上海建设科技,2011(4):47-50.
- [6] 余明,丁辰,过静珺.激光三维扫描技术用于古建筑测绘的研究[J].测绘科学,2004,29(5):69-72.
- [7] 黄磊,卢秀山,陈传法.基于激光扫描仪数据的建筑物立面特征信息提取[J].测绘科学,2006,31(6):141-142.
- [8] Yang B, Wei Z, Li Q, et al. Automated Extraction of street-scene objects from mobile lidar point clouds[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(18):5839-5861.
- [9] 何原荣,潘火平,郑渊茂,等.地面三维激光扫描仪在溶洞建模与测量中的应用[J].激光杂志,2016,32(2):90-93.
- [10] 陈启军,朱振娇,顾爽.基于傅立叶描述子和HMM的手势识别[J].控制工程,2012,19(4):634-638.
- [11] 苏会卫,孙琳,欧瑜枫.DTN中服务感知的自适应消息转发路由算法[J].计算机工程与设计,2010,31(17):3816-3819.
- [12] Wang H, Luo H, Wen C, et al. Road Boundaries Detection Based on Local Normal Saliency from Mobile Laser Scanning data[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2015, 12(10):2085-2089.
- [13] Cheng M, Wang C, Li J. Sparse representation based pansharpening using trained dictionary[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11(1):293-297.
- [14] 熊友泓,冯志新,陈颖彪,等.利用点云数据进行三维可视化建模技术研究[J].测绘通报,2012(5):20-23.
- [15] Zhu Q, Yi J, Shi S, et al. A computer-aided modeling and measurement system for environmental thermal comfort sensing[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2015, 64(2):478-486.
- [16] 赵海莹,张正鹏.三维激光点云数据在城市建模中的应用[J].城市勘测,2009(1):69-72.
- [17] Pu S, Vosselman G. Building facade reconstruction by fusing terrestrial laser points and images[J]. Sensors, 2009, 9(6):4525-4542.
- [18] 崔晓荣,陆华,叶图强,等.三维空区自动扫描系统在露天矿山中的应用[J].有色金属,2012,64(3):8-10.
- [19] 王健,李雷,姜岩.天宝三维激光扫描技术在数字矿山中的应用探讨[J].测绘通报,2012(10):58-61.