

·学科进展与展望·

亦真亦幻的户外增强现实系统 ——圆明园的数字重建

王涌天* 林 惊 刘 越 郑 伟

(北京理工大学光电工程系,北京 100081)

[摘 要] 增强现实技术是信息领域一个新兴的多学科交叉研究方向,具有虚实结合、三维注册、实时交互的特点,在医疗手术、工业设计、市政规划、军事仿真、教育培训、文化娱乐等领域具有广泛的应用前景。本文针对我国重要历史遗迹圆明园,提出通过户外增强现实系统来进行圆明园数字重建的解决方案。在阐述户外增强现实系统关键技术的基础上,描述了3种不同的用于数字重建的户外增强现实系统的体系结构和工作原理,包括定点式观察增强现实系统、手持式便携增强现实系统以及头戴式漫游增强现实系统。

[关键词] 增强现实,显示设备,注册定位,文物古迹,数字重建,圆明园

1 引 言

增强现实(Augmented Reality,简称AR)是在虚拟现实(Virtual Reality,简称VR)技术的基础上发展起来的新兴研究领域,综合了计算机图形、光电成像、融合显示、多传感器、图像处理、计算机视觉等多门学科,是一种利用计算机产生的附加信息对真实世界的景象增强或扩张的技术。AR系统的使用者可以在看到周围真实环境的同时看到计算机产生的增强信息,这种增强信息可以是在真实环境中与真实物体共存的虚拟物体,也可以是关于存在的真实物体的非几何信息^[1]。

AR技术在医疗、文化、科研、教育、工业、国防等领域具有广泛的应用前景。如美国波音公司研制了辅助接线系统,通过识别导线颜色和接线柱位置,利用透视式头盔显示器自动指导工人连接飞机上的电子线路,大大提高了生产效率;美国海军正在研制战场增强现实系统(Battlefield Augmented Reality System,简称BARS),基于该技术的单兵综合作战系统使指战员能够准确迅速地获取各种战场信息;欧共体资助的ArcheoGuide项目试图用AR技术对希腊

奥林匹亚神庙进行现场数字重建;日本SONY公司研制的“穿透视觉(TransVision)”增强现实系统可以实现多个设计者共同参与对产品虚拟样机的设计和修改。

北京理工大学是国内最早开始进行虚拟现实技术研究的单位之一。1994年为加拿大Queen's University研制了VR头盔显示器目视光学系统。近年来,在国家杰出青年基金项目、多个国家自然科学基金项目和国家重点基础研究发展规划项目(973项目)的支持下,本项目组率先对增强现实技术开展了系统的研究,在取得的研究成果的基础上,提出了将AR技术应用于著名文物古迹数字重建的技术方案。

我国著名的历史文物古迹圆明园是中华文化艺术的瑰宝,也是中国近代史的最好见证。它既有横平淡雅之古意,又有富丽堂皇之壮观,园中叠山理水,号称万园之园。可惜在1860年10月18日,英法联军侵略者将这一中国劳动人民血汗和智慧结晶付之一炬,目前残留的只是断壁残垣。改革开放以来对圆明园的保护、整理、研究、规划等工作就一直没有停止。在是否复原圆明园,以及如何复原的

* 国家重点基础研究发展规划项目(批准号2002CB312104)、国家杰出青年科学基金(批准号60025513)资助。
本文于2006年1月1日收到。

问题上, 各界一直争论不休。基于增强现实技术的圆明园数字重建可以在完整保持遗址风貌的基础上, 在遗址现场全面、立体、精致地再现圆明园无与伦比的园林艺术, 同时展现中华民族古典文化的博大精深以及对现代科技的发展和应用。它可以推动圆明园旅游经济的发展, 增强其在爱国主义教育和精神文明建设中的作用, 具有很高的社会意义和经济价值。本期的封面照片展示了圆明园大水法数字重建的三维模型。

本文阐述了户外增强现实系统关键技术, 同时针对圆明园场景宏大、游人众多的特点和数字重建的难度, 介绍了项目组提出的3套户外AR设计解决方案。通过丰富多样的表现形式, 提高圆明园数字重建的新颖性、可行性, 同时展示AR技术的巨大魅力和广阔的应用前景。

2 户外增强现实的关键技术

2.1 虚实融合显示设备

增强现实技术的核心是如何实现完美的“虚实融合”, 显示技术是其中的关键。在圆明园数字重建中, 项目组创造性地提出了定点镜筒式^[2]、手持PDA式和头戴头盔式^[3]3种融合显示方案。

2.2 户外AR系统的注册定位

增强现实的另一个关键技术是三维环境的注册定位(Registration)技术。要解决的问题是准确实时地跟踪使用者头部在真实世界中的位置和方位, 确定其视点和视线方向, 建立观察坐标系; 再根据需要叠加的虚拟物体在真实世界坐标系中的位置和方位, 通过坐标变换求出其在观察坐标系中的值, 最后将三维的虚拟物体投影到二维的平面显示器件(如头盔显示器中的液晶屏)上供使用者观察, 实现如图1所示的虚实场景的融合显示^[4]。

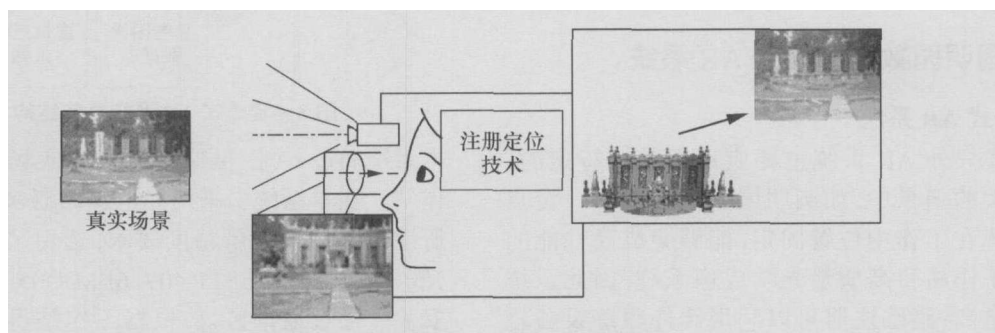


图1 AR系统的注册定位示意图

注册定位的基本方法可以分为基于硬件的跟踪和视觉算法分析两大类。通过硬件设备实现的跟踪注册运算速度相对较快, 但成本较高, 安装配置复杂, 精度有时不能满足要求。相比之下, 基于计算机视觉的注册定位技术只需在使用者头部安装一个(或几个)数字摄像机, 具有成本低、精度高、通用性强的特点; 但视觉分析注册方法计算量大、实时性较差。在实际应用的增强现实系统中, 经常采用将这两种技术方案融合(Fusion or Hybrid)的混合注册跟踪技术, 以结合两者的优点^[5]。

用于圆明园数字重建的系统属于户外系统, 对于注册定位的精度和速度要求高, 而且现场存在许多随时间变化的因素和噪声, 如季节对树木的影响、光照强度随时辰的变化、游客走动对场景画面带来的改变等等, 会在不同程度上影响注册定位的效果。本项目将分阶段完成3种户外AR系统, 并针对不同的显示技术研究出相应的跟踪注册技术。

2.3 基于户外光照模型的渲染引擎

实现三维环境的注册定位后, 户外AR系统根据注册定位结果对场景进行三维渲染, 将虚拟景物渲染到真实场景上。本文研制的用于圆明园数字重建的户外AR渲染引擎具有如下优点:

- (1) 基于DirectX开发, 完全面向对象, 采用N-Tier开放式体系结构, 与环境注册模块关联;
- (2) 具有完整的实时漫游、视角变换、粒子系统等功能;
- (3) 兼容鼠标/键盘等标准输入设备, 同时也兼容其他非标准AR辅助输入设备, 如数字手套、数字跟踪罗盘等;
- (4) 支持多路视频输出, 结合专用显示设备, 如头盔显示器(Head Mounted Display, 简称HMD), 实现双目立体显示效果;
- (5) 根据当前时间和地理位置, 调整引擎光照模型, 仿真环境变换效果。引擎渲染效果如图2所示。

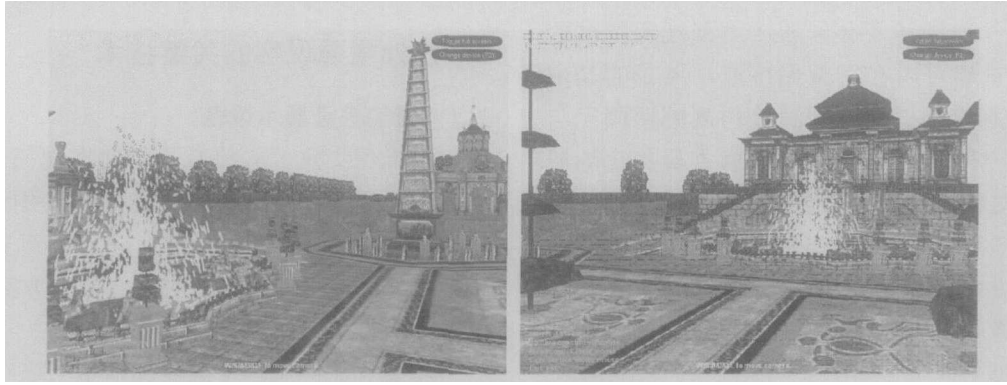


图2 三维渲染引擎效果

为达到更自然的“虚实融合”的效果,本系统在渲染虚拟物体时需要计算真实场景中的光照参数,即太阳的当前位置和照度。将太阳的空间位置进行投影,用太阳的高度角和方位角来描述太阳的位置。太阳的入射角可以通过当地的地理纬度以及当前时间求得^[6]。由此可以计算出太阳的位置,并在渲染引擎中按此位置设置虚拟光源,以此来模拟太阳的照明情况。

3 用于圆明园数字重建的 AR 系统

3.1 定点式 AR 系统

定点式户外 AR 系统主要应用于某一特定的、较开阔宏大的场景中,如圆明园大水法周围。定点式 AR 系统中位置固定,能够集成高性能的图形渲染工作站和高质量光学成像系统,因此系统的成像质量高;跟踪注册可以利用硬件跟踪设备较容易地实现,使虚拟景物与真实场景的融合更加自然;此外,定点式系统稳固,不易损坏,利于推广应用也是其优点之一。而其主要局限性就在于系统固定,对转台的自由度有约束,在一定程度上限制了用户的体验。

其系统结构如图 3 所示,主要由以下几个部分组成:硬件跟踪注册设备、虚拟景物数据库、CCD 摄像头、二自由度转台、计算机工作站、LCD 显示设备以及光学显示系统等^[7]。CCD 摄像头和硬件跟踪

定位设备安置在位置固定的转台上,转台具有旋转和俯仰两个方向的自由度。

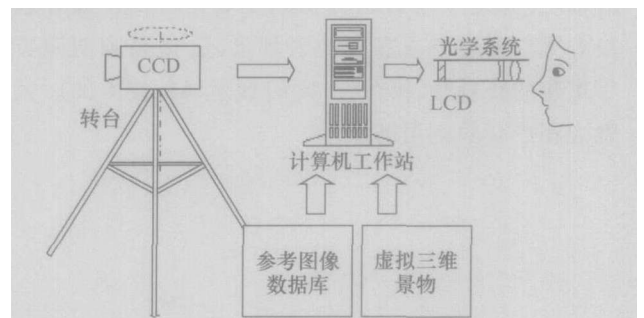


图3 定点式 AR 系统整体结构示意图

本系统通过 CCD 摄像头获取真实场景并且传给工作站。在本系统中采用光电编码器来做硬件跟踪注册设备。根据测量精度要求,选用了 4096 线/转的光电编码器 LEC-S11-409.6BM-G05F^[8]与转台固定安装。通过通讯协议,根据工作站得到光电编码器计算出的角度信息,从而计算出摄像头的位置;由于转台是固定在某一固定位置的,因此可以确定 CCD 摄像头的 6 个自由度;系统根据获得的注册信息,对预存的三维虚拟景物进行渲染,同时还需要调节虚拟景物亮度和虚拟光源的位置,保证虚拟景物与自然环境结合得更加自然。最后将虚拟场景与真实场景结合所得到的增强图像输出到 LCD 上,用户通过光学系统就能够感受到增强现实的效果,系统工作流程如图 4 所示。

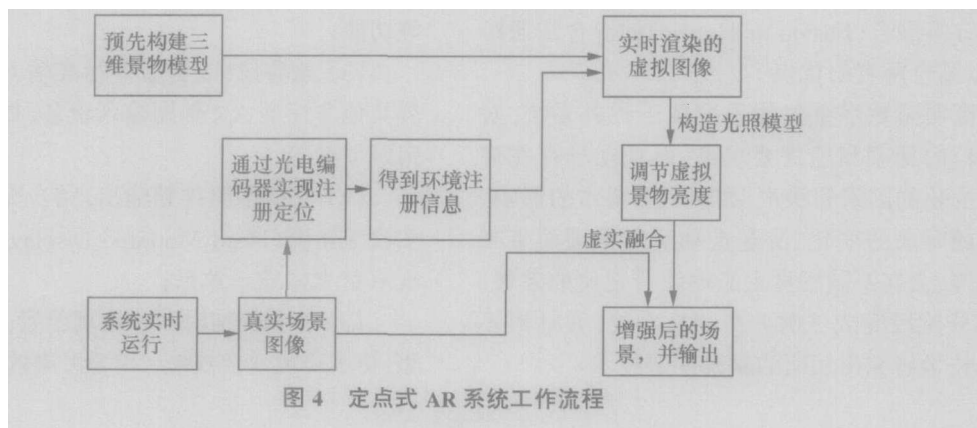


图4 定点式 AR 系统工作流程

此系统目前已完成,由于圆明园观水法附近地势较为平坦,并且遮挡物体较少,因此选择在此处搭建实验环境和测试系统效果。图 5 所示为 CCD 摄

像机摄入的真实场景图像,经过系统处理和计算,用户通过系统的光学系统能够看到增强后的显示效果,如图 6 所示。



图 5 真实场景



图 6 游人通过定点式 AR 系统所见效果

3.2 手持式 MAR 系统

移动增强现实(Mobile Augmented Reality, 简称 MAR)是国外刚刚兴起的一项技术。其目标是将增强现实技术有效地应用于移动设备终端,拓展增强现实技术的应用领域。目前的小型移动设备,如 PDA、智能手机已经具备了接近普通 PC 的运算能力,并且集成了增强现实系统需要的各种相关技术和模块。因此,移动设备能够使虚拟现实和增强现实技术脱离体积庞大、成本高昂的 PC 机、摄像设备、HMD,用特定的形式在特定的环境中,展现出亦真亦幻的增强现实场景^[9]。通过 MAR 系统,圆明

园的游客就可以利用手中的移动设备,方便地体验增强现实的效果,并且能够将“虚实融合”的图像通过移动存储设备保存留念。此外,移动设备成本较低,易于管理和维护,故本方案具有很好的实际应用前景。但是,受限于移动设备的硬件渲染能力,系统显示效果有待改进,且实时性较差。

本系统采用客户/服务器模式,实现融合场景显示与复杂的跟踪计算分离,减轻移动设备的计算处理负担,并且嵌入图像压缩/解压缩模块,利用图像压缩/解压缩算法缓解网络带宽问题,系统的结构如图 7 所示。

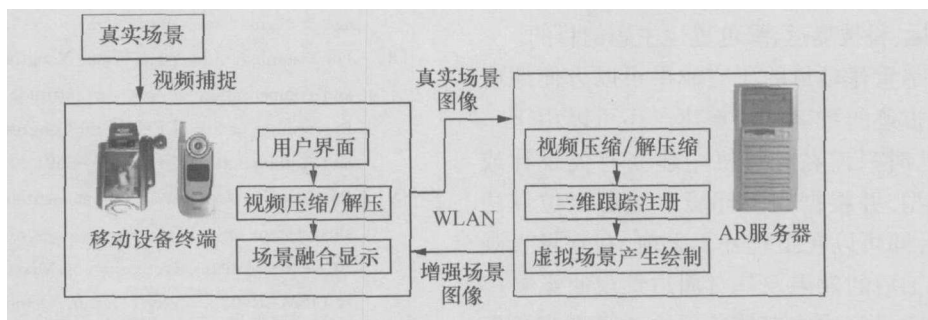


图 7 手持式 MAR 系统结构图

3.3 头盔式 AR 系统

基于 HMD 的头戴式 AR 系统是目前在感官效果上最具震撼力的 AR 系统,它允许使用者在指定区域随意漫游,在视觉、听觉上为其提供身临其境的感受。在 AR 系统中使用的 HMD 是透视式 HMD,从其工作原理上可以分为两种:视频透视 (Video See-through) 式 HMD 和光学透视 (Optical See-through)HMD。视频透视式 HMD 通过一对安装在用户头部的摄像机摄取外部真实环境的景象,计算机通过计算处理将所要添加的信息或图像叠加在摄

像机的视频信号上,再送到头盔显示器供使用者观察。而光学透视式 HMD 则是通过一对安装在眼前的半透半反光学合成器实现对外界环境的观察;用户透过光学合成器,既可以看到周围的真实环境,又可以看到计算机产生的增强图像或信息^[10]。

基于 HMD 的头戴式 AR 系统对系统精度和实时性要求很高,而且人的头部运动情况复杂,系统注册定位更加困难,往往需要对当前的真实场景进行复杂的结构分析,工作量巨大。因此头戴浸没式 AR 系统主要应用于室内小场景的增强现实,如增强装

配,增强维修等。在本项目中,将在圆明园的一些场景结构简单的小范围景点进行试验。考虑到 HMD 成本高,价格昂贵的缺点,将头戴式漫游 AR 系统全面应用于圆明园内还存在较大的困难。

此系统将使用 GPS 和电磁跟踪设备对使用者头部位置进行粗略定位,再通过基于场景信息的环境注册算法进行对视觉方向进行精确注册。系统原理结构如图 8 所示。

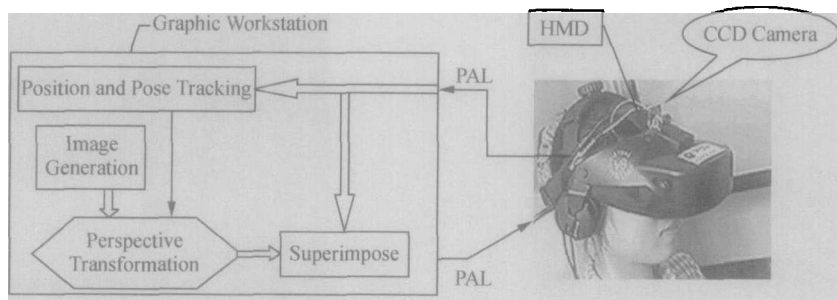


图 8 头戴式 AR 系统原理结构图

4 前景展望

本项目的目标是研制出多种户外增强现实系统,使游客能在圆明园内不同景区以多种形式感受数字圆明园的魅力。系统完成后游客可以在通过定点式 AR 系统仔细品味圆明园的沧桑变幻;可以通过移动终端设备,随时享有景随人动的奇特感受;可以头戴透视式 HMD,身负可穿戴式计算机,“浸没”地置身于数百年前的皇家园林中。使圆明园如凤凰涅槃、浴火重生一般,真实而又虚幻地现场重现于世人眼前。我们希望在不久的将来将圆明园建设成一个深厚文化底蕴和先进科学技术有机结合的著名景区,达到弘扬人文奥运、科技奥运、绿色奥运主题的目的。

圆明园数字重建项目的研究成果可以方便地应用于其他文物古迹的数字修复重建。还可以用于市政建设规划,这时只需在计算机中建立有关设计或规划的三维模型,并根据周围环境对注册定位算法做简单的调整,即可以在工程开工之前,在现场直观地了解工程完工后的效果及其对周边景观的影响。

本项目的完成将构成完整通用的增强现实研发平台,有力地推动增强现实技术在医疗手术、科学研究、教育培训、工业设计、市政规划、国防建设等领域的应用,使我国在这一新兴交叉学科的研究达到国际先进水平。

- [2] 王涌天,刘越,常军等.用于现场数字三维重建的增强现实定点观察系统.国家发明专利申请号:200510105577.X.
- [3] 王涌天,程雪岷,刘越等.一种头盔显示器的新型光学系统.国家发明专利申请号:200510008494.9.
- [4] 陈靖,施琦,王涌天.增强现实技术及其应用.计算机工程与应用,2001,37(21):55—57.
- [5] Uenohara M, Kanade T. Vision-based object registration for real-time image overlay. Proceedings of CVRM'95, 1995, 13—22.
- [6] 周雅,晏磊,赵虎.增强现实系统光照模型建立研究.中国图象图形学报,2004,9(A):968—972.
- [7] lin Liang, Liu Yue, Zheng Wei et al. Registration algorithm based on image matching for outdoor AR system with fixed viewing position, accepted by IEE Proceedings on Vision, Image & Signal Processing, 2005.
- [8] Hu Xiaoming, Liu Yue, Wang Yongtian et al. Error analysis and compensation of low cost attitude measurement system. Proceedings of 5th IEEE World Congress of Intelligent Control and Automation, 2004, 3688—3691.
- [9] Pasman W, Woodward C. Implementation of an augmented reality system on a PDA. Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'03), Tokyo, Japan, October 2003.
- [10] 周雅,闫达远,王涌天等.一种增强现实系统的三维注册方法.中国图象图形学报,2000,5(5):430—433.
- [11] Brown L G. The registration technology of image-surface. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 24: 325—376.

(下转 86 页)

参 考 文 献

- [1] Azuma R. A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1997, 6(4): 355—385.

REVIEW AND PROSPECT TO THE DISCIPLINE OF PLANT NUTRITION IN NSFC

Luo Jing¹ Shen Jianbo² Yang Xinquan¹

(1 *Department of Life Sciences, NSFC, Beijing 100085*; 2 *China Agricultural University, Beijing 100094*)

Abstract The paper presents an overview of the main kinds of grants funded in the Discipline of Plant Nutrition in NSFC in the past 20 years. In addition, it analyses the status of plant nutrition research in China, the priority and the developing trend of plant nutrition.

Key words NSFC, Discipline of Plant Nutrition, review, research prospect

(上接 80 页)

OUTDOOR AUGMENTED REALITY AND ITS APPLICATION IN DIGITAL RECONSTRUCTION OF YUANMINGYUAN

Wang Yongtian Lin Liang Liu Yue Zheng Wei

(*Department of Optoelectronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081*)

Abstract Augmented reality is a new technology involving multiple disciplines and attracting considerable research interests. Its characteristics include the combination of virtual objects with real world, 3D registration and real-time interaction, and it has important application prospects in areas such as medical surgery, industrial design, city planning, military simulation, education and training, culture and entertainment. In this paper, novel solutions based on outdoor augmented reality are presented for the digital reconstruction of the famous royal garden of Yuanmingyuan. After discussions of the key issues in an outdoor augmented reality system, architectures and working principles of three augmented reality systems for the digital reconstruction of historical sites are described, including a fixed-position viewing system, a handheld mobile system and a head-mounted system.

Key words Augmented reality, display systems, registration, historical sites, digital reconstruction, Yuanmingyuan