



基于增强现实技术的圆明园现场数字重建

On-site Digital Reconstruction of Yuanmingyuan Using Augmented Reality Technology

王涌天/WANG Yong-tian¹, 郑伟/ZHENG Wei¹, 刘越/LIU Yue¹, 常军/CHANG Jun¹,
黄天智/HUANG Tian-zhi¹, 王立峰/WANG Li-feng², 苗春/MIAO Chun²

1. 北京理工大学信息科学技术学院, 北京 100081
2. 北京万方幸星数码科技有限公司, 北京 100016

1. Department of Optoelectronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
2. EASTAR Digital Corporation, Beijing 100016, China

[摘要] 增强现实(AR)技术是在虚拟现实技术的基础上发展起来的新兴研究领域,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的技术。AR系统的用户可以在看到真实环境的同时看到计算机产生的与之融合的文字、图片或虚拟物体的三维模型。阐述了AR系统的基本组成和关键技术,介绍了用于圆明园现场数字重建的3种增强现实系统,即定点观察式、手持个人数据助理(PDA)式和基于头盔显示器(HMD)的可穿戴式增强现实系统。阐述了各系统的结构和原理,详细说明了定点观察式系统的研制现状及初步实验结果。

[关键词] 增强现实;圆明园;定点观察系统;个人数据助理;可穿戴计算机;头盔显示器

[中图分类号] TP391 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-7857(2006)03-0036-05

Abstract: Augmented Reality (AR) is a new research field derived from virtual reality. It is a technology that enables computer-generated information to be superimposed on the real world. Users of an AR system can observe the real scene augmented with computer-generated text, graphics or 3D models of virtual objects. The basic constitution and key technologies of an AR system are discussed. Three types of AR systems proposed for the on-site digital reconstruction of Yuanmingyuan are introduced, including a fixed-position viewing system, a handheld personal digital assistant (PDA) system and a wearable system using a head-mounted display (HMD). Their architectures and working principles are presented. The development status quo and initial experiment results are provided in detail for the fixed-position viewing system.

Key Words: Augmented Reality (AR); Yuanmingyuan; fixed-position viewing system; personal digital assistant (PDA); wearable computer; head-mounted display (HMD)

CLC Number: TP391 **Document Code:** A **Article ID:** 1000-7857(2006)03-0036-05

1 增强现实概述

增强现实(Augmented Reality,简称AR)是一种将虚拟的物体与真实的环境相结合,以达到为真实的场景环境提供信息扩展和增强的技术^[1,2]。这种增强的信息可以是在真实环境中与真实环境共存的虚拟物体,也可以是关于存在的真实物体的非几何信息。这种虚实结合的技术可以提供对各种信息的可视化解释和表现,并能支持用户与其进行交互。它是一种能够有效地扩展人类的感知和表达的高级媒体交互手段,也是人机界面技术发展的重要方向。

增强现实与虚拟现实既有联系,又有区别。增强现实是在虚拟现实技术的基础上发展起来的,二者都需要产生虚拟的场景或物体对象。但是,虚拟现实使用户完全沉浸于计算机生成的虚拟场景之中,而增强现实技术是一种虚实结合的技术,为实现真

实环境和虚拟世界的有机结合架起了一座桥梁。增强现实技术自身的特点使之具有广阔的应用前景,可以广泛地应用于工业设计、机械制造、医疗手术、市政规划、军事训练、教育培训、文化娱乐、古迹恢复等许多领域。

在工业领域,增强现实这一名词最早出现于20世纪90年代初期。波音公司的Tom Caudell和他的同事在为波音飞机设计布线辅助系统时提出了这一概念^[3,4]。该系统利用头盔显示器把可视化的布线路径和文字提示信息实时地叠加在机械师的视野里^[5]。操作者无需查阅手册,甚至可以不需要工作经验,就可以利用叠加在周围环境上的图形和文字信息,依照提示一步步地完成全部布线工作。这一方法既节省了大量的培训成本,又可以减少日常操作中出错的几率。

在医学领域,AR系统可以作为手术辅助工具。MIT的AI实

收稿日期:2006-02-08

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2002CB312104),国家杰出青年科学基金项目(60025513)

作者简介:王涌天,男,北京市中关村南大街5号北京理工大学光电工程系,教授,教育部长江学者奖励计划特聘教授,主要研究方向为技术光学、虚拟现实和增强现实、图像处理;E-mail: wyt@bit.edu.cn



实验室利用 AR 技术将核磁共振(MRI)或 CT 扫描所成的 3D 图像叠加在病人的身体部位,通过头盔显示器(HMD)等显示设备赋予医师“透视眼”的功能^[6]。AR 系统还可以通过图像或文字信息为医师提供精确的手术导航,医师根据提示逐步完成手术操作,可以大大提高手术的成功率。

在考古方面,IntraCom 公司在欧盟的支持下研制了利用 AR 技术对古希腊遗迹进行现场复原的古迹电子导游系统(ARCHEOGUIDE)^[7]。这个系统由计算机服务器、无线网络、个人数据助理(PDA)客户端组成,其目的是使游人可以在现场看到古迹复原的效果(如图 1 所示)^[8]。



(a) Hera 神庙原址实景



(b) Hera 神庙的增强现实重建效果

(b) AR reconstruction of the Hera temple

图 1 古希腊 Hera 神庙的增强现实数字重建

Fig. 1 AR technology used in the digital reconstruction of the Hera temple in Greece

在军事上,AR 系统通过可视化的图像或文字信息为士兵提供包括地理位置信息、目标、友邻和支援等在内的全方位的战场增强信息,可以极大地提高士兵的作战效能^[9]。

2 增强现实系统的基本组成与关键技术

2.1 基本组成结构

增强现实系统的基本组成结构如图 2 所示。它主要由以下几个环节组成。① 真实场景的获取;② 虚拟对象注册信息的获取;③ 虚拟对象数据库;④ 3D 图像的变换与渲染;⑤ 图像的虚实融合;⑥ 显示设备等。

系统首先需要获得真实的环境图像,然后需要获得虚拟对象的注册信息,即将虚拟物体准确地加入到真实场景中所需要的位置和姿态数据。计算机根据获得的注册信息,对虚拟对象进行坐标变换和渲染,再把它们与真实的场景图像叠加,实现虚实融合。最后,通过显示设备将虚实结合的增强图像信息提供给用户。

2.2 增强现实系统的关键技术

注册定位和显示是增强现实系统中的 2 个最为关键的技术^{[10][11]}。

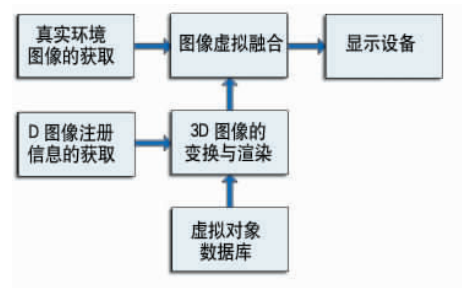


图 2 增强现实系统的基本组成结构

Fig. 2 Basic architecture of an AR system

目前国际上采用的注册方法主要包括基于跟踪设备的注册定位、基于计算机视觉的注册定位、基于视觉和跟踪设备的混合注册定位等。基于计算机视觉的注册技术研究目前在增强现实领域处于主导地位,其中又包括有标志点和无标志点的跟踪注册。无标志点的跟踪注册算法较复杂,仍处于研究阶段,虽取得了一些进展,但用于户外的 AR 系统尚未达到实用水平^[12-20]。虽然基于标志点的注册算法相当丰富和完善,但必须在场景中添加各种形状或不同颜色的标志点,这在大多数涉及文化遗产保护的应用中是不允许的。

经过虚实融合之后的合成图像需要通过显示设备提供给用户,包括手持个人数据助理(PDA)、头盔显示器(HMD)等不同形式。HMD 可以为用户提供具有临场沉浸感的增强图像,它有视频透视式和光学透视式两种^[11]。HMD 的研发目标是为用户提供既具有最佳虚实融合效果,又轻便灵巧的显示设备。其中涉及到新型目视光学系统的设计和新型显示器件的研发,未来的新一代微显示器 LCOS 将会广泛地应用于头盔显示器中^[21]。

3 圆明园增强现实系统

圆明园是我国清朝年间自康熙时代起,集中全国人力物力,历时百余年兴建的一座规模空前的山水离宫,素有东方凡尔赛宫和万园之园的美称^[22]。1860 年圆明园毁于第二次鸦片战争。如今的圆明园是一个遗址公园,是中国近代屈辱历史的见证,对于了解中国历史和进行爱国主义教育具有非常重要的意义。解放以后,对圆明园的修复一直存在争议^[23]。目前参观者只能通过图片资料间接地了解过去的盛时园林景象。而应用增强现实技术,可以在完整地保持遗址风貌的基础上,利用虚实场景融合,在现场直观地恢复出昔日的盛世景象,与遗址的废墟形成的鲜明的对比,可以给参观者留下非常深刻的印象。它既可以精致地再现圆明园无与伦比的园林艺术,展现中华民族古典文化的博大精深,又可以使人们了解现代科技的发展和应用,是爱国主义教育的极好手段,具有很高的社会意义和实用价值。

在北京市和海淀区政府部门的支持下,北京理工大学信息科学技术学院承担了基于增强现实的数字圆明园的研究项目。由于经费限制,目前的工作仅限于遗迹较多的西洋楼大水法景区。为实现圆明园的现场重建,提出了定点观察式、手持 PDA 式和基于 HMD 的可穿戴式 3 种不同的户外增强现实系统。完全基于自主知识产权的定点式 AR 系统^[24]可以在固定的地理位置上为用户提供现场实时立体增强效果。设备可以水平 360°、垂直±30°旋转;手持 PDA 移动系统可以在一定移动范围内,通过 PDA 的视窗系统为用户提供具有增强效果的图像;HMD 可穿戴式系统的用户需佩戴头盔显示器,穿戴移动计算系统,允许在一定范围内自由行走,随时得到具有沉浸感的增强场景图像。

3.1 定点观察式增强现实系统

3.1.1 系统概述及体系结构

用于圆明园三维数字现场重建的定点观察增强现实系统为实时单用户旋转镜筒式。它主要由立体增强现实光电成像子系

王涌天,等:基于增强现实技术的圆明园现场数字重建

统、姿态传感子系统、图像处理子系统和同步转动平台子系统组成。系统结构如图 3 所示,图 4 是系统的外观照片。其中,光电立体成像子系统由双路 CCD 摄像机、双路显示屏以及立体目视镜组成。功能包括拍摄现场的图像,同时将增强的图像以立体的方式显示。角度传感子系统由云台和光电编码器组成,用于探测镜筒的姿态数据,图像处理子系统根据镜筒的姿态数据对圆明园昔日场景的计算机模型进行变换和渲染,与真实的环境图像叠加,实现虚实融合。同步转动的机械平台是所有设备的载体,可以使机器整体与用户随动,同时载有 UPS 和集电环,实现系统安全供电和避免电缆纠缠。

本系统的用户使用云台手柄在水平 360° 、垂直 $\pm 30^\circ$ 的范围内转动摄像镜筒,在圆明园景区现场观察实时重建在废墟上的大水法、观水法、远瀛观、海晏堂等建筑的原始三维模型,并可以与实际的外界图像进行叠加融合显示。

这一系统具有“真实、虚拟、增强”3 种工作模式,分别显示真实场景环境、完全虚拟的视景效果、以及虚实融合的增强现实效果。可以通过人工控制,对真实和虚拟场景进行同步的变焦操作,实现视景的比例缩放。系统可以根据地理位置和时间自动调节模型的光照方向,同时通过人工控制光照强度,使虚拟物体与真实场景更好地融合,以期实现虚拟物体和真实环境的无缝拼接,达到真假难辨的虚实融合效果。系统的控制面板为用户提供了镜头变焦,调整模型光照强度,真实、虚拟及增强场景模式切换,视频和声音播放等多种人机交互手段。

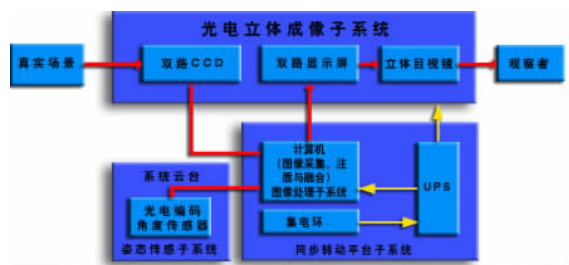


图 3 定点观察式增强现实系统的结构组成

Fig. 3 Configuration of the fixed-position viewing AR system

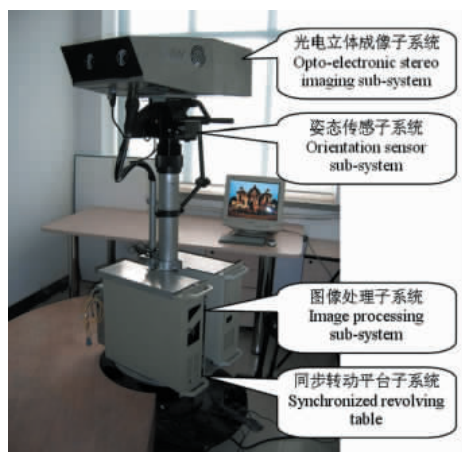


图 4 定点观察式增强现实系统的外观照片

Fig. 4 Picture of the fixed-position viewing AR system

3.1.2 子系统工作原理

1) 光电立体成像子系统。光电立体成像子系统的功能是获取真实环境图像和显示增强的图像。为了表现真实的身临其境感觉,图形采集和显示部分采取立体视觉通道的设计方式,即左右两路摄像机分别对应人的左、右眼,显示系统使用双 LCD 液晶

显示器和双通道目视镜。双路摄像机拍摄的带有视差的真实场景图像与经过注册的虚拟物体图像融合以后,在左右显示器上同步显示,经过双通道目视镜合成,可以使用户观看到具有立体视觉效果的增强场景,体验到身临其境的沉浸感。

2) 姿态传感子系统。姿态传感子系统的功能是获取注册定位信息。因为定点系统被放置在固定的观察位置,所以通常虚拟模型注册定位所需要的 6 自由度信息减至 2 自由度,即只需要实时获取放置在云台上的镜筒的俯仰角和偏航角,降低了系统实现的复杂度。俯仰和偏航角是通过与云台系统联接的高精度光电编码器获得的。光电编码器采用圆光栅莫尔条纹和光电转换技术,将机械轴转动的角度量转换成数字电信号输出给单片机,进行角度的测量。光电编码器具有体积小、重量轻、力矩小、可靠性高、寿命长的特点,其测量精度可达到 0.07° ,在本项目定点观察系统中使用可满足虚实图像融合的精度要求。

姿态传感子系统由旋转云台、2 个光电编码器及齿轮传动机构构成。2 个光电编码器通过固定架与云台体固定,其转轴分别通过齿轮传动机构与旋转云台体的水平方向和俯仰方向联动以实现姿态角的跟踪。用户操纵云台手柄旋转镜筒,带动光电编码器测角机构联动,并将其输出角度信息传输至计算机,实时完成视点方位的跟踪注册。

3) 图像处理子系统。图像处理子系统的主要功能为实现虚实场景融合,其主体是工控机和一个基于 DirectX 的实时漫游引擎。可以根据姿态传感子系统所测得的角度信息计算出昔日场景的三维数字模型在真实场景中的映射坐标,经过投影变换和渲染得到相应的投影图像,再利用图像融合技术将其叠加在真实环境的图像之中,必要时添加相关文字、声音等增强信息,分左右视点取样图像,提供给立体成像子系统,形成具有沉浸感的立体增强现实图像。

4) 同步转动平台子系统。同步转动平台子系统是一个和谐的随动机构,其作用是载荷工控机、不间断电源(UPS)和其它设备,实现系统与用户同步转动,防止出现电缆纠缠,简化外部设计。它安装在系统底盘上,含双层套筒、同步转动平台、轴承、集电滑环、数据及电气接口。双层套筒的内层与系统底盘固定,外层与云台相连接,可以转动。工控机、UPS 等装置安装在与外层套筒联装的同步旋转平台上。集电滑环向同步旋转平台上的 UPS 提供动力电源。用户通过云台联动杆驱动云台和双层套筒的外层套筒旋转,进而带动同步旋转平台以及其上的工控机、UPS 等进行同步旋转。在实现系统在水平面上 360° 全向旋转的同时,防止了电源线及信号线在使用过程中的缠绕现象。利用不间断电源保证了室外环境下对整个系统的安全可靠的持续供电。

3.1.3 实验结果

图 5 是对圆明园西洋楼景区的部分场景进行增强现实数字重建的初步实验结果。其中(a)、(c)、(e)分别为大水法、观水法和西水塔的遗址实景,(b)、(d)、(f)是与之对应的虚实融合数字重建效果。

3.2 手持 PDA 式增强现实系统

本系统的实现方案与国外报道的基于标志点和 ARToolsKit 软件的 PDA 增强现实系统^[25]完全不同。在圆明园场地宽阔、游人经常与需要重建的场景距离较远的前提下,项目组将三维模型注册定位问题简化为二维的图像配准问题,利用图像匹配技术获得注册信息,使其成为适用于圆明园的无标志点的增强现实系统。系统结构如图 6 所示。系统将 PDA 作为一个图像获取和显示的终端,用其拍摄得到的真实场景图像,通过无线局域网传输到后台的 AR 网络服务器。服务器将 PDA 拍摄的图像与事先存贮的参考图像进行配准运算,得到输入图像相对参考图像的注册信息。据此对经过渲染的虚拟模型进行三维坐标和投影变换,与输入的真实场景图像叠加,最后将完成虚实融合的增强图像通过无



图 5(a) 大水法遗址实景

Fig. 5(a) Relic of the Grand Waterworks



图 5(b) 大水法重建效果

Fig. 5(b) AR reconstruction of the Grand Waterworks



图 5(c) 观水法遗址实景

Fig. 5(c) Relic of the Throne for Watching the Grand Waterworks



图 5(d) 观水法重建效果

Fig. 5(d) AR reconstruction of the Throne for Watching the Grand Waterworks



图 5(e) 西水塔遗址实景

Fig. 5(e) Relic of the West Water Tower



图 5(f) 西水塔重建效果

Fig. 5(f) AR reconstruction of the West Water Tower

线网络传回 PDA 终端,显示给用户。这一方法可以允许用户在距离建筑物较远的一定范围内移动,与上述的定点系统相比,具有较大的灵活性,但受 PDA 显示屏的限制,图像分辨率相对低,也无法实现立体显示。由于 PDA 运算资源有限,因此只能作为图像采集与显示的终端设备,图像的注册、渲染、融合都要在网络服务器上完成。图像的压缩与传输以及图像的配准精度成为制约系统性能的瓶颈^[25]。目前,这一系统正在研究试验之中。

3.3 HMD 可穿戴式增强现实系统

这是一种较为完善的增强现实系统。用户头戴头盔显示器,穿戴移动计算系统,置身于虚实融合的场景之中。头盔显示器是一种图像获取和显示的终端设备,有视频透视式和光学透视式两

种形式。前者与定点观察系统的工作方式相近,通过固定在头盔上的 CCD 摄像机采集真实场景图像,送到可穿戴计算机进行处理,再将融合的增强图像送回头盔显示器中呈现给用户。而光学透视式头盔允许用户直接看到外界的真实场景,根据注册定位信息投影、渲染后的虚拟图像,经过光学图像融合器件与真实场景的光路重合,使用户观察到增强的图像。

本系统的关键在于实现对用户视线的实时 6 自由度跟踪注册,需要建立一个在多种模式下混合跟踪的 AR 工作平台。系统的多传感器数据融合模块把差分全球定位系统(DGPS)和数字罗盘提供的辅助参考测量数据与图像等视觉信息相结合,传送给注册信息获取模块。这一模块根据各路传感器的融合数据,结合数



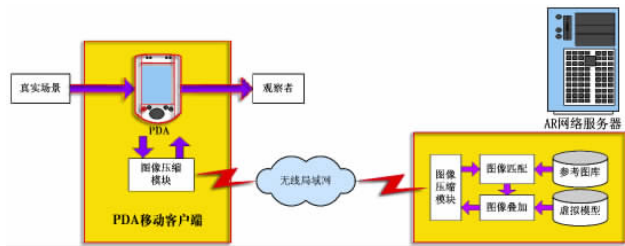


图6 手持PDA式增强现实系统原理结构

Fig. 6 Framework of a PDA based mobile AR system

数据库中的参考图像,求出用户精确的位置和姿态数据,实现实时运动跟踪。虚拟模型伺服模块根据所获得的位置和姿态信息,结合数据库中的电子地图,从虚拟模型库中调出当地所需要的虚拟对象,利用注册信息对其进行坐标和投影变换,结合环境的光照信息对模型进行渲染,然后根据采用的头盔显示器的透视形式用相应的方式显示给用户。

头盔漫游式系统目前正在研制中,其设计结构如图7所示。图中照片为本项目组研制的光学透视式头盔显示器原理样机。

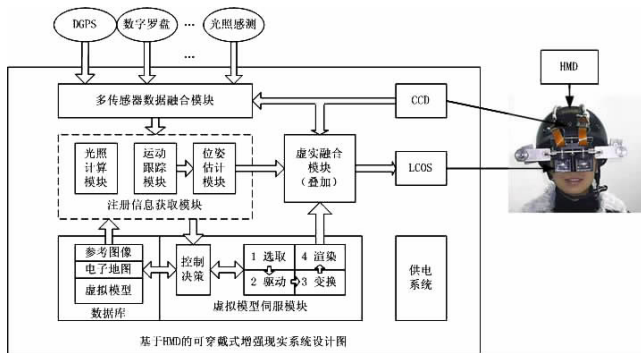


图7 基于HMD的可穿戴式增强现实系统的原理结构

Fig. 7 Framework of an HMD based wearable AR system

4 结论与展望

目前,基于增强现实技术的数字圆明园研究项目进展顺利。在项目组提出的3套实现方案中,定点观察式AR系统的软硬件研制工作已全部完成,目前正在进行最后的现场联调。手持PDA式和基于HMD的可穿戴式AR系统的开发工作正在抓紧进行。我们希望能够在今后的将来推出多种实用的增强现实系统,使广大游人能够身临其境地感受数字圆明园的魅力,体味历史沧桑,激发爱国热忱,同时领略现代科学技术的风采。逐步将圆明园建设成一个具有深厚文化底蕴并与先进科学技术有机结合的主题公园,为宏扬2008年北京奥运会的人文奥运、科技奥运、绿色奥运主题做出贡献。

参考文献 (References)

- [1] AZUMA R T. A Survey of Augmented Reality [J]. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1997, 6(4): 355-385.
- [2] AZUMA R T, BAILLOT Y, BEHRINGER R, et al. Recent advances in augmented reality [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(6): 34-47.
- [3] TOM CAUDELL. AR at boeing (1990) [EB/OL]. <http://www.ipoe.tue.nl/homepages/mrauterb/presentations/HCI2history/tsld096.htm>.
- [4] Boeing Inc. Augmented reality [EB/OL]. <http://www.boeing.com/de2fense2space/aerospace/training/instruct/augmented>.

htm.

- [5] website <http://esto.sysplan.com/ESTO/Displays/HMD-TDS/Factsheets/Boeing.html>. 1994-07.
- [6] GRIMSON W E L, ETTINGER G J, WHITE S J, et al. An automatic registration method for frameless stereotaxy, image guided surgery, and enhanced reality visualization [J]. IEEE Trans. Medical Imaging, 1996, 15(2): 129-140.
- [7] Archeoguide website [EB/OL]. <http://archeoguide.intranet.gr/>.
- [8] VLAHAKIS V, IOANNIDIS M, KARIGIANNIS J, et al. Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2002, 22(5): 52-60.
- [9] PIEKARSKI W, GUNTHER B, THOMAS B. Integrating virtual and augmented realities in an outdoor application, 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, 1999 (IWAR '99) [C]. 1999, 45-54.
- [10] 王涌天,刘越,胡晓明. 户外增强现实系统关键技术及其应用的研究[J]. 系统仿真学报, 2003, 3: 329-333.
- [11] 周雅, 闫达远. 增强现实系统显示技术探讨[J]. 计算机工程与应用, 2003, 15: 35-38.
- [12] KE XU, CHEOK A D, KAR WEE CHIA, et al. Visual registration for geographical labeling in wearable computing. Sixth International Symposium on Wearable Computers, 2002, (ISWC 2002) [C]: 109-116.
- [13] RIBO M, LANG P, GANSTER H, et al. Hybrid tracking for outdoor augmented reality applications [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2002, 22(6): 54-63.
- [14] YOU SUYA, NEUMANN U, AZUMA R. Hybrid inertial and vision tracking for augmented reality registration. IEEE Proceedings on Virtual Reality, 1999 [C]: 260-267.
- [15] YOKOKOHJI Y, SUGAWARA Y, YOSHIKAWA T. Accurate image overlay on video see-through HMDs using vision and accelerometers. IEEE Proceedings on Virtual Reality 2000 [C]: 247-254.
- [16] KIRIAKOS N, KUTULAKOS, JAMES R VALLINO. Calibration-Free Augmented Reality [J]. IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, 1998, 4(1): 1-19.
- [17] COMPORT A I, MARCHAND E, CHAUMETTE F. A real-time tracker for markerless augmented reality. The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003 [C]: 36-45.
- [18] PRESSIGOUT M, MARCHAND E. Model-free augmented reality by virtual visual servoing, Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, ICPR 2004 [C]. 2004, 2: 887-890.
- [19] SIMON G, FITZGIBBON A W, ZISSERMAN A. Markerless tracking using planar structures in the scene, IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, (ISAR 2000), 2000 [C]: 120-128.
- [20] BUENAPASADA J M, BAUMELA L. Real-time tracking and estimation of plane pose, 16th International Conference on Pattern Recognition, 2002. 2002, 2: 697-700.
- [21] 黄磊, 林祖伦, 董戴, 等. 新型彩色 LCOS 头盔微显示器光学系统 [J]. 电子器件, 2005, 28(3): 482-485.
- [22] 朱杰编著. 圆明园 [M]. 北京: 外文出版社, 2000.
- [23] 张萍, 柴火. "重现"圆明园 [J]. 中国国家地理, 2002, 11: 43-69.
- [24] 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: 中国, 200510105577. X [P].
- [25] PASMAN W, WOODWARD C. Implementation of an augmented reality system on a PDA, The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003 [C]. 2003: 276-277.

(责任编辑 胡春华)