

·综述·

增强现实中虚实光照一致性研究综述

王珂

(华北计算技术研究所,北京 100083)

摘要:总结了近年来增强现实领域虚实光照融合技术的发展情况,对主要的分类进行了阐述,对于光照估计技术、基于设备采集的虚实光照一致性研究、基于场景理解的虚实光照一致性研究进行了介绍,并对国内外研究现状列举说明。此外,分析了增强现实中虚实光照一致性研究的一些技术难点,总结了现有的解决办法,对于虚实光照一致性研究的未来发展趋势,也进行了相应的展望。

关键词:虚拟现实;增强现实;光照估计;虚实光照融合

中图分类号:O482.31

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-06-0006-07

Research on Virtual-real Illumination Consistency in Augment Reality Scene

WANG Ke

(North China Institute of Computing Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The development of virtual-real illumination combining technology in augment reality area in recent years is summarized. The main categories of these technologies are described. Illumination estimation technology, research on virtual-real illumination consistency based on equipment acquisition and scene understanding are introduced. And the domestic and foreign research actualities are illustrated. Furthermore, some technology difficulties for virtual-real illumination consistency research in augment reality are analyzed. The existing solutions are summarized. The development trends of the research are also forecasted.

Key words: virtual reality; augmented reality; illumination estimation; virtual-real illumination combining

虚拟现实(virtual reality, VR)是以计算机技术为核心,结合相关科学技术,生成与一定范围真实环境在视、听、触感等方面高度近似的数字化环境,用户借助必要的装备与数字化环境中的对象进行交互作用、相互影响,可以产生亲临对应真实环境的感受和体验^[1]。而增强现实(augmented reality, AR),又称增强型虚拟现实是虚拟现实技术的进一步拓展,它借助必要的设备使计算机生成的虚拟环境与客观存在的真实环境共存于同一个增强现实系统中,从感官和体验效果上给用户呈现出虚拟对象与真实环境融为一体的增强现实环境。

目前,增强现实研究领域的主要问题是虚实融

合的场景建模,其中影响虚实场景逼真效果的重要因素就是虚拟物体的光照模型与真实物体的光照信息,因此解决虚拟物体与真实物体的光照效果融合,达到视觉上的虚实光照一致效果,是增强现实领域研究的热点问题。

1 虚实光照一致性研究现状

基于视频素材的虚实融合场景生成技术正在成为虚拟现实和增强现实方向的技术发展趋势和典型研究热点。在基于视频的增强现实系统中,为了使计算机生成的虚拟对象具有真实感,让用户确信虚

拟对象是周围环境的组成部分,以达到无缝虚实融合的效果,需要保持虚拟物体与真实物体间的几何和光照一致性。其中几何一致性是指在真实场景中选定一个世界坐标系,并计算摄像机与世界坐标系的位置关系,从而正确的将虚拟物体注册到真实环境中;光照一致性是指根据真实环境中的光照分布和需要注册的虚拟物体的表面材质,计算虚拟物体表面的光照效果,以及由此产生的虚实阴影效果。

为了保持虚拟物体与真实物体之间的光照一致性,在现有的增强现实系统中,主要通过人工在真实场景中设置一些光学标志物来采集真实场景的光照信息,完成虚拟物体表面光照效果和虚实阴影效果的计算。这种依靠设备采集的方法对用户的专业知识要求较高,对标志物的设置及操作极为不便;并且设置标志物的方法破坏了原有的真实场景,影响了场景的真实感,没有达到虚实无缝融合的要求。近年来,一些基于场景理解的虚实光照融合方法,力求

从场景素材本身“理解”出其中蕴含的光照信息,并建立光照模型,从而不借助任何光照信息采集设备,完成虚实光照结合处理,目前该技术已经能够推理出场景的粗略几何结构和场景的近似明暗分布。

1.1 光照估计研究现状

美国特拉华大学的 Wei Zhou 等人,针对于以往光照估计中要求单一特定类型光源的局限,提出了一种场景光照模型的统一化框架,对不同类型的光源建立了更普遍适用的光源模型。该方法利用了镜面反射标定球,来探测场景的光照信息。首先利用标定好位置的相机拍摄一系列场景的图像,估计场景中球体的位置。认为球体表面的强度包括朗波强度及镜面反射强度,利用朗波强度来估计光源的强度,利用镜面反射强度来估计光源的位置参数,该流程如图1所示^[3]。

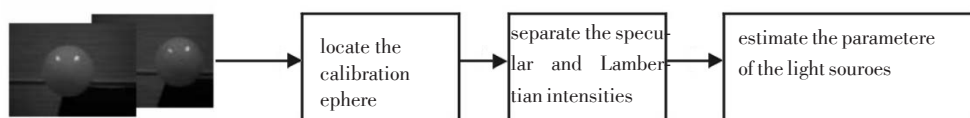
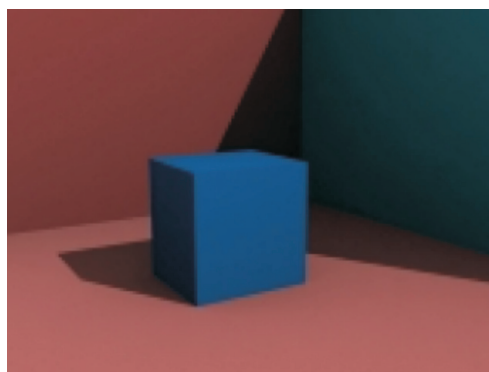


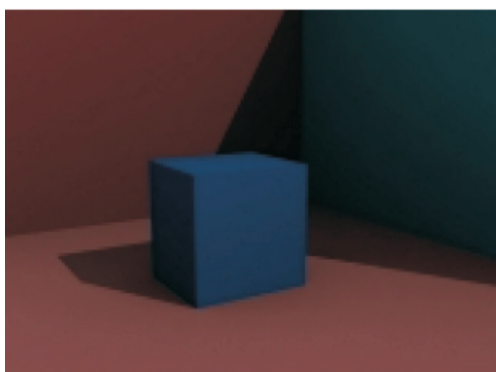
图1 光照估计流程图:由镜面球的一些列图像,估计出球的位置,然后分离球面的朗波强度及镜面反射强度最后估计得到光源的参数信息。

2006年,丹麦奥尔堡大学的 Mikkel Sandberg Andersen 等人提出了一种为实时增强现实系统服务的户外场景动态光照的估计方法。该方法无需在场景中设标识物,利用改进的 Phone 光照模型,对视频中的每一帧建立“阴影图”(shadow map)以确定在光照变化时场景中物体处于阴影中的部分。但该方法需要已知太阳位置,场景的 HDRI 环境图并预先定义漫反射表面,如图2所示^[4]。



(b)光照发生变化后的场景

图2 基于户外场景的动态光照估计方法



(a)原始场景

2009年,卡耐基梅隆大学的 Jean-Francois Lalonde 等人提出了一种针对单张户外场景图像的光照估计方法。该方法将户外场景图像中的天空、地面以及垂直表面作为线索估计出太阳所在位置的概率分布,并生成天空模型^[5]来照明场景中的虚拟物体。如图3所示,图3a为输入的户外场景图像,图3b为分别利用天空、地面、垂直表面作为线索估计出的

太阳位置概率分布图,综合这三个线索合成最终的太阳位置的概率分布图并生成天空模型如图3c,完成虚实光照融合效果如图3d所示。该方法利用了6 000 000张网络摄像头拍摄的时间序列图像来作为训

练数据集,无需依靠采集设备采集环境光照信息,能够生成较好的虚实阴影一致效果,但在场景中线索较弱的情况下,此方法受到了局限^[6]。

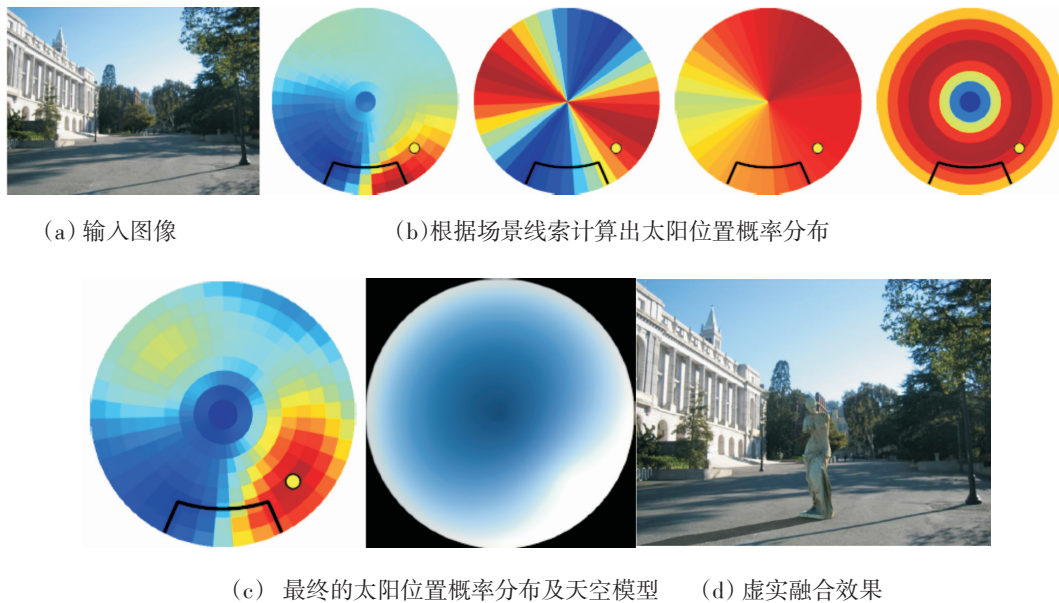


图3 基于单张户外场景图像的光照估计方法

2010年,康奈尔大学的Jaroslav Krivanek等人研究了全局光照逼近对材质表面效果的影响。针对于建立全局光照模型开销大并且会对真实场景产生人为破坏和影响的缺点,研究了利用虚拟点光源(VPL)算法对全局光照进行逼近对图像质量及物体材质产生的影响。通过一系列实验,分析了虚拟点光源的数量和能量级数对虚实融合场景产生的影响,同时分析了物体的材质及几何属性对这些影响的调整作用^[7]。

1.2 基于设备采集的虚实光照一致性研究现状

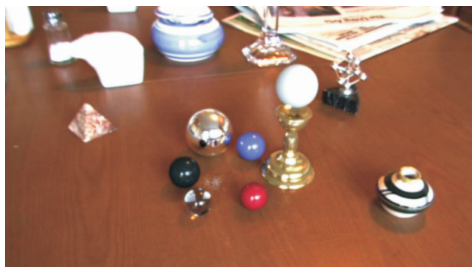
加州大学伯克利分校的Paul E. Debevec等人首次提出了一种基于全局光照模型和高动态范围图像(HDRI)采集的虚实光照融合方法^[8]。该方法可以从场景图像中恢复出场景的高动态范围辐射度图^[9],将场景三分为远景、近景和虚拟物体,建立全局光照模型,对远景利用光球采集高动态范围图像,计算远景的辐射度图,对近景粗略的估计其材质和反射特性,进行差绘制(differential rendering)完成在真实场景中对虚拟物体的绘制。该方法提出了一种向真实场景

中加入符合真实场景光照效果的虚拟物体的框架,用差绘制的方法进行真实场景的重照明不但能反映环境光照对虚拟物体的影响,还能表现出虚拟物体对真实环境的影响。如图4所示,图4a为原始场景图像,图4b为虚实融合后的场景图像,可以看到远景的光照对虚拟物体产生了影响,同时虚拟物体和近景(桌面)间也存在着影响^[10]。

2006年,丹麦奥尔堡大学的Tommy Jensen等人提出了一种无标志物的增强现实虚实光照融合方法。该方法基于户外场景,利用真实物体的表面图像获取真实环境的光照信息,针对虚拟对象与真实光照条件的不一致现象,给出了虚拟对象表面光照效果的修正方法,能够使虚拟对象的光照效果接近



(a)原始场景图像



(b) 虚实融合后的场景图像

图4 基于全局光照模型和高动态范围图像的虚实光照融合方法

真实环境的光照条件,完成虚实注册。但该方法只能处理单个真实场景光源(太阳),且需要已知场景的粗略三维模型和 HDRI (high dynamic range image)环境图。如图5所示,图5a中雕像为虚拟物体,当光线条件变化时,虚拟物体表面的光照和阴影都没有发生变化,如图5b所示,这不符合真实场景的实际情况,利用该方法,虚拟物体表面的光照得到了修正,并且虚拟阴影和真实阴影也很好的融合,如图5c所示^[11]。



(a)原始场景

(b)光照发生变化

(c)虚实融合效果

图5 基于户外动态光照条件下的虚实光照融合

2007年,丹麦奥尔堡大学的 Claus B. Madsen 等人提出了一种基于GPU的虚实光照融合方法。该方法利用鱼镜头拍摄,合成场景的HDR环境图,用 N 个光源来估计场景的HDR环境图,并且认为 N 个光源只有最强的 M 个光源对投射阴影起到了作用,这样大大减少了渲染开销;同时它在处理阴影上首先计算了整个场景的漫反射率,之后考虑到场景的真实几何与虚拟几何用投射阴影的光源对场景进行重光照。该方法能够在不改变场景中已有阴影的情况下,对虚拟物体绘制阴影完成虚实光照融合,并且基于GPU能够极大地提高运行速率,但它只限于场景光照不变的情况下,并且摄像机视角不能发生任何变化,如图6所示^[12]。



(a)原始场景 (b)10个阴影投射源的虚实融合效果

图6 基于GPU的虚实光照融合方法

北京航空航天大学虚拟现实技术与系统国家重点实验室建立了基于多光源与多摄像机的真实环境光照信息采集系统,如图7所示,使用多面体构造近

似球体的立体结构,高度近2.5 m,挂载分布可调的可控光源和摄像机,可以迅速、高效地采集各种光照条件下物体表面的反射特性,可以用于增强现实场景的虚实光照结合处理研究。北京理工大学的周雅等提出基于立方体标志物的场景光照参数获取方法,根据标志物在图像中的明暗状况推算真实环境的光照信息,并构造虚拟光源的光照参数^[13]。

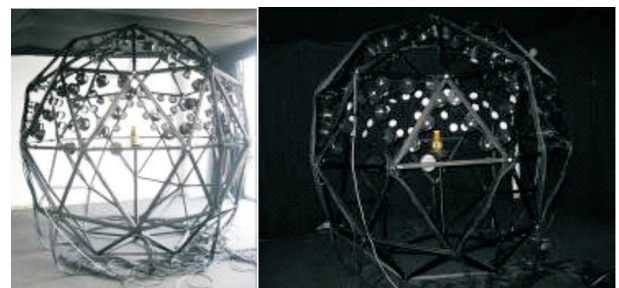


图7 近似球体的光照信息采集设备

1.3 基于场景理解的虚实光照一致性研究现状

瑞士洛桑联邦理工学院计算机视觉实验室的Pilet等利用二维平面获取真实环境光照信息,通过反向光照创建环境光照映射图,计算虚拟对象的相应光照信息和阴影信息,并且给出了多方位摄像机注册信息互补的方法。图8a是多个视频序列的设置,图8b是真实环境的二维平面,图8c是增强现实场景的虚拟茶壶及其光照和阴影效果。该方法能够较快

速地生成虚拟对象光照及其阴影效果,但是需要依赖二维平面工具^[14]。

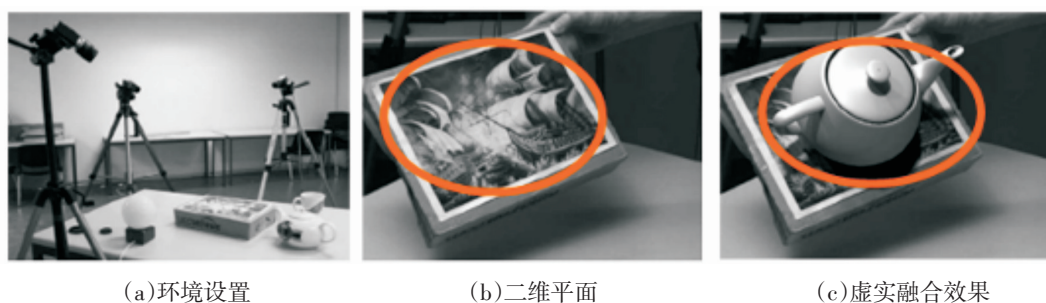


图8 利用二维平面获取真实环境光照信息完成虚实注册

2009年,卡耐基梅隆大学的 Jean-Francois Lalonde 等人提出了一种基于视频图像剪贴库的虚实光照融合方法。利用网络摄像头拍摄的时间图像序列,构建了拥有大量图像数据的“视频图像剪贴库”,针对库中的每幅图像进行辐射度和几何上的标定,并计算出视频序列图像中每一帧的HDR (high dynamic range) 环境图。基于已知几何信息及光照信息的“场景图像剪贴库”,给定一幅已具有光照效果的二维图像,可以在库中搜索出与其光照条件最匹配的场景,进行场景与对象的融合;还可以用库中的场景重光照三维图形,即完成虚实融合的效果,如图9所示^[15]。

对静态户外场景的光照估计方法,该方法的最大优势在于无需预知场景的几何、材质及纹理信息。该方法对一个静态户外场景,用固定视角的相机经过长时间拍摄得到了涵盖场景不同光照情况的图像数据集。通过学习的方法从中得到分别依靠太阳光和天空光产生的阴影效果作为基准图(basis map)来反映场景的几何属性及材质数值,对于该数据集中出于任意光照情况下的图像如图10a所示,利用基准图如图10b来对其进行光照估计,并完成虚实融合效果,如图10c所示。但是该方法只能处理静态固定视角的视频^[16]。

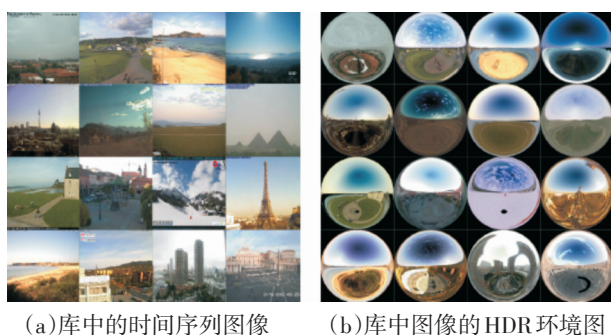


图9 基于视频图像剪贴库的虚实光照融合

2 现状分析

增强现实场景的虚实光照结合处理是构建增强现实场景的主要组成部分,是影响虚实结合场景逼真性和准确性的最重要因素之一,也是增强现实技术必须面临、急需解决的基础问题和难点问题。目前,基于图像的光照技术日趋成熟,获取场景的光照条件主要有两大方法:传统的、基于底层视觉信息的虚实光照结合处理方法。依靠在场景中设置很多光照信息采集设备,获取环境光照信息完成虚实融合操作;近期发展的基于场景理解的虚实光照结合处理方法。利用先验知识的统计建模和推理的方法,推理出全局的、中高层的场景信息,在更高的层次上推理场景的几何、明暗、阴影、材质等属性,避免设置光照信息采集设备和减少复杂预操作。最近的基于场景理解的方法,通过构建时间序列图像场景来估计光照信息,通过多张图像来提高光照估计的准确性。

2009年,浙江大学的刘艳丽等人提出了一种针

但目前基于视频场景的虚实光照融合大部分还



(a)用来进行光照估计的原始图像



(b)基准图



(c)针对三幅图像的虚实融合效果

图10 无需场景几何的虚实光照融合方法

局限于处理静态户外视频场景素材,对于在光照和场景对象发生变化的动态视频场景,还缺乏一种较为完善的虚实融合方法。如果将现有的理论扩展到一般的视频场景对象,可以极大扩展虚实光照融合技术的应用范围,并对增强现实场景建模,解决虚实结合场景逼真性准确性问题起到促进的作用。在真实的视频场景中,场景对象光照条件及几何信息的变化会导致视频帧间的光照信息及几何估算的差异,直接影响到生成视频的流畅性,使生成视频出现抖动效果。目前还缺乏一种虚实光照融合方法可以处理视频虚实融合场景出现的帧间不连续性问题。因此,在动态的虚实结合场景中,研究一种基于视频的虚实光照融合处理方法,使得虚拟对象的光照效果与其周围真实环境一致,并解决视频在虚实光照融合中产生的抖动及帧间关联性的关键问题,具有重大的意义。

3 结 语

增强现实技术要求能让用户从感官上确信虚拟

对象是周围环境的组成部分,因此需要解决几何一致性、光照一致性和实时性的问题,而增强现实场景的虚实光照结合处理是构建增强现实场景的主要组成部分,是影响虚实结合场景逼真性和准确性的重要因素之一,也是增强现实技术必须面临、急需解决的基础问题和难点问题。

基于图像的光照技术日趋成熟。传统的、基于底层视觉信息的虚实光照结合处理方法,依靠在场景中设置很多光照信息采集设备,获取环境光照信息完成虚实融合操作。当在已经拍摄完成的图像或视频中处理虚实融合时,场景理解可以利用先验知识的统计建模和推理的方法,推理出全局的、中高层的场景信息,在更高的层次上推理场景的几何、明暗、阴影、材质等属性,避免设置光照信息采集设备和减少复杂预操作。基于场景理解的方法,通过构建时间序列图像场景来估计光照信息,通过多张图像来提高光照估计的准确性。但目前基于视频场景的虚实光照融合大部分还局限于处理静态户外视频场景素材,对于在光照和场景对象发生变化的动态视频场景,还缺乏一种较为完善的虚实融合方法。

如果将现有的理论扩展到一般的视频场景对象,可以极大扩展虚实光照融合技术的应用范围,并对增强现实场景建模,解决虚实结合场景逼真性准确性问题起到促进的作用。

参考文献

- [1] 赵沁平. 虚拟现实综述 [J]. 中国科学 F 辑: 信息科学, 2009, 39(1): 2-46.
- [2] 陈小武. 协同式增强现实的一致三维空间模型描述, 华中科技大学学报, 2005(12).
- [3] WEI Zhou, Chandra Kambhmettu. A unified framework for scene illuminant estimation[J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(3): 415-429.
- [4] Mikkel Sandberg Andersen, Tommy Jensen, Claus B Madsen. Estimation of dynamic light changes in outdoor scenes without the use of calibration objects. International Conference on Pattern Recognition, 2006.
- [5] Jean-François Lalonde, Srinivasa G Narasimhan, Alexei A Efros. What do the sun and sky tell us about the camera[J]. International Journal of Computer Vision, 2010: 24-51.
- [6] Jean-François Lalonde, Alexei A Efros, Srinivasa G Narasimhan. Estimating natural illumination from a single outdoor image[J]. International Conference on Computer Vision, 2009.
- [7] Jaroslav Krivanek, James A Ferwerda, Kavita Bala. Effects of global illumination approximations on material appearance [J]. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2010), 2010, 29(4).
- [8] Paul Debevec. Image-based lighting. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006 Courses), 2006.
- [9] Paul E Debevec, Jitendra Malik Zongker. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs[J]. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2008 Classes), 2008.
- [10] Paul Debevec. Rendering synthetic objects into real scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination[J]. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2008 Classes), 2008.
- [11] Tommy Jensen Mikkell, Sandberg Andersen, Claus, et al. Real-time image based lighting for outdoor augmented reality under dynamically changing illumination conditions[J]. International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, 2006: 364-371.
- [12] Claus B Madsen, Rune Laursen. A scalable GPU-based approach to shading and shadowing for shotorealistic real-time augmented reality[J]. International Conference on Graphics Theory and Applications, 2007: 252-261.
- [13] 周雅, 晏磊, 赵虎. 增强现实系统光照模型建立研究[J]. 中国图形图像学报, 2004, 9(8).
- [14] Julien Pilet, Andreas Geiger, Pascal Lagger, et al. An all-in-one solution to geometric and photometric calibration[J]. The 5th International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006), 2006: 69-78.
- [15] Jean-François Lalonde, Alexei A Efros, Srinivasa G Narasimhan. Webcam clip art: appearance and illuminant transfer from time-lapse sequences [J]. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2009), 2009, 28(5).
- [16] LIU Yan-li, QIN Xue-ying, XU Song-hua. Light Source Estimation of Outdoor Scenes for Mixed Reality[J]. The Visual Computer, 2009: 637-646.

(上接第5页)

- [19] H Liu, K Kieu, Lefrancois, et al. Tm fiber laser mode-locked at large normal dispersion CLEO 2011[J]. Laser Science to Photonic Applications, 2011.
- [20] Frithjof Haxsen, Dieter Wandt, Uwe Morgner, et al. Monotonically chirped pulse evolution in an ultra short pulse thulium-doped fiber laser[J]. Opt. Lett., 2012, 37(6): 1014-1016.
- [21] A Chamorovskiy, A V Marakulin, S Ranta, et al. Femtosecond mode-locked holmium fiber pumped by semiconductor disk laser[J]. Opt. Lett., 2012, 37(9): 1448-1550.
- [22] Y Jeong, J Nilsson, J K Sahu. Single-frequency, single-mode, plane-polarized ytterbium-doped fiber master oscillator power amplifier source with 264 W of output power[J]. Optics Letters, 2005, 30(5): 459-461.
- [23] C Wirth, O Schmidt, I Tsybin, et al. 2 kW incoherent beam combining of four narrow-linewidth photonic crystal fiber amplifiers[J]. Optics Express, 2009, 17(3): 1178-1183.
- [24] 乔学光, 杨和钱, 贾振安, 等. 光纤激光器的研究进展与展望[J]. 光机电信息, 2006(9): 45-50.