

裸眼 3D 技术在显微手术中的研究与应用

李 超,沈建新,梁 春

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘 要:裸眼 Three-dimensional(3D)技术增强现实、深度信息准确、无需特制眼镜便能获得立体效果使得它已经成为最热门最前沿的一项技术。将裸眼 3D 技术应用于外科显微手术领域,带来了极大的优势和益处。给出了裸眼 3D 显微手术系统的硬件系统框架,依据 3D 技术的研发机理系统介绍了几种最新的 3D 显微手术系统的工作原理,分析其优缺点。针对当前最新技术,提出了裸眼 3D 显微手术系统的软件开发框架并详细阐述其关键技术,最后简单介绍其在增强现实教学、远程监控等领域的强大功能和应用。

关键词:裸眼 3D;显微手术;深度图;DIBR

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)07-0170-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.038

Research and Application of Naked-eye 3D Technology in Microsurgery

LI Chao, SHEN Jian-xin, LIANG Chun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of
Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Naked-eye 3D technology can augment reality, get accurate depth information and obtain stereo effect without special glass, which makes it one of the hottest and newest technologies. It has brought great benefits and advantages to apply naked-eye 3D technology in the surgical field of microsurgery. In this paper, give a hardware system framework of naked-eye 3D microsurgery system. According to the research and development mechanism of 3D technology, introduce the working principle of several latest 3D microsurgery system, analyzing their advantages and disadvantages. Aiming at the newest technologies, put forward a software development framework of naked-eye 3D microsurgery system and elaborate on its key technologies. Lastly, simply introduce its powerful function and application in the aspect of augmented reality, remote monitoring etc.

Key words: naked-eye 3D; microsurgery; depth map; DIBR

0 引 言

随着 3D 技术在近几年的快速发展,带来了许多新奇的体验,也推动了众多行业的技术革新,军事、工业、医疗、影视娱乐等领域都不断有新的成果出现,其中裸眼 3D 技术将是未来发展的必然趋势^[1-2]。

显微手术持续时间特别长,如神经瘤外科手术平均持续时间为 7 小时 24 分钟。因而传统手术显微镜给医生带来了巨大负担,一直以来研究人员都在寻找摆脱目镜观察的方法来解放医生,而一般的二维显示器无法获得景深信息,直到 3D 技术的出现才使得这一想法得以实现。

3D 技术最早运用于显微手术是基于戴特制眼镜的方式,主要以分光技术为主;如韩国 KC Kwon 等开发的高清立体显示系统^[3]、德国 Justus Ilgner 的一系列立体手术教学系统^[4]以及 Sony 医用 3D 摄像机 MCC-3000MT 等等。均采用偏振分光技术来实现,能获得高清的手术实时画面,但由于佩戴眼镜及显示技术掣肘,在亮度和分辨率上有很明显的损失。

最新的裸眼 3D 显微手术医疗系统比较成功的有美国的 TrueVision 医疗公司开发的立体手术系统^[5]、基于德国 SeeReal 裸眼 3D 显示器构建的立体系统等,除了这些走进市场的成品以外,还有一些出现于实验

收稿日期:2014-08-13

修回日期:2014-11-20

网络出版时间:2015-06-23

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2006AA020804);江苏省产学研联合创新基金前瞻性联合研究项目(BY2012009);江苏省自然科学基金(BK2012380)

作者简介:李 超(1988-),男(土家族),硕士研究生,研究方向为数字化医疗装备;沈建新,教授,博士,研究方向为数字化设计制造、数字化医疗装备技术、飞机柔性装配技术等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1005.005.html>

室的裸眼3D手术系统,如英国伦敦大学 P Chios 等利用欧洲 Sharp 实验室的“孪生”裸眼3D显示器组建的系统^[6]。同时,裸眼3D显示技术也被广泛用于如图像引导手术(IGS)等新技术之中^[7]。总之,将裸眼3D技术与外科手术医疗设备相结合现已成为一个热门的研究领域。

1 平面3D显示原理

基于二维视差图像的平面3D显示主要采用体视法与集成成像法^[8],包括以下几种方式:互补色式、偏振式、快门式、裸眼3D。裸眼3D又称为自由立体式(Autostereoscopic),其中互补色式、偏振式与快门式均需要佩戴特制的眼镜才能观看3D效果。3D成像的原理即模拟人眼成像原理,人的双眼之间存在6-7 cm的距离,所看见的图像不同,这使得人眼在观察时产生一定的视差,继而在人脑经过融合产生立体感。平面立体显示的核心技术便是通过特殊的手段,使观察者双眼在二维的显示平面上,看到不同的、有视差的图像,从而加强观察者的现场感和真实感。如图1所示,A和B在左右图像上的点对应应为 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 。若左眼只看见 A_1 、 B_1 ,右眼只看见 A_2 、 B_2 ,则观察者便能获得A、B两者之间的前后距离,也就是深度信息^[9],从视觉效果上来说便能看到位于屏幕前后方的图像。

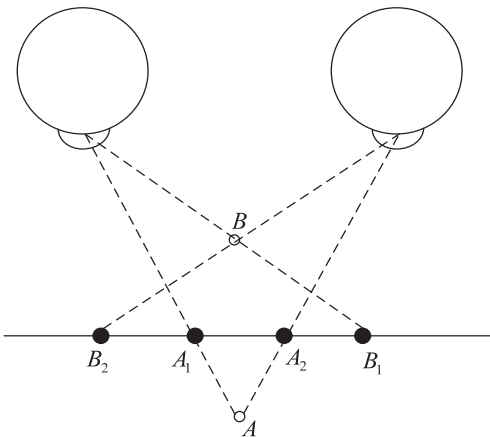


图1 视差立体成像原理图

裸眼3D显示器常用障栅和透镜两种方法来分离视差图像,主要包括双视点系统、双视点头部跟踪系统、多视点系统等^[10]。双视点系统只有一对视差图像,改变位置后容易失去立体感,因而采用了头部跟踪装置来加强视觉效果;多视点技术则将多个视点的图像投射观察者,这样当人改变位置时,能从不同视点观察也加强了立体效果。PHILIPS公司对像素交叉排列的改进和倾斜柱透镜的改进都创新性地提高了显示器性能。除此之外,常见的裸眼3D显示器还有早期的体式结构,以Sharp公司为代表,美国的MLD分层技术、日本的DFD景深融合型技术等等^[11]。目前,多视

点技术由于其良好的立体效果成为众多商品和技术研究的热门选择。

2 裸眼3D显微手术系统

目前,裸眼3D显微手术系统的推广还不普及,但市场的要求已很强烈,国外医疗设备厂商已经开始在本土和全球大力推行3D显微手术平台,在国内的各大医疗展会上都能见到它们的身影。以3D技术为依据介绍几种裸眼3D工作平台,主要有多视点技术、双视点头部跟踪技术等。它们具有各自的优缺点和应用范围。

2.1 平面显示手术系统结构

手术显微镜作为医疗基本装备之一,具有通用的光学接口及适配器,一般为C接口^[12]。视频采集使用高清彩色CCD摄像头,而图像信号可以通过视频采集卡、千兆网卡等传输到电脑进行处理、存储并进行显示。裸眼3D显微手术平台结构如图2所示^[13]。

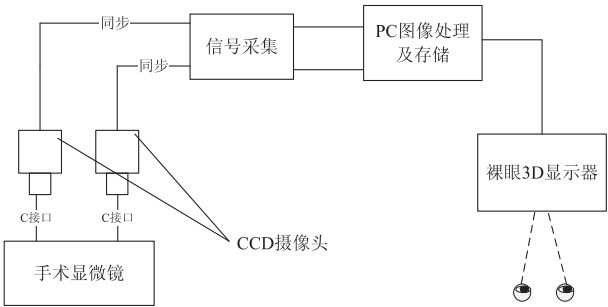


图2 裸眼3D手术系统结构图

2.2 体式裸眼3D系统

此处的体式裸眼3D系统是非全息技术系统,它出现较早,以欧洲Sharp实验室的“孪生”显示器为代表。P Chios等率先利用它进行了相关实验,通过一个机械手臂利用3D显示器和目镜观察来准确寻找实验模型上的三个点。结果表明通过裸眼显示器的测量数据与目镜观察的精确度几乎是一样的,偏差都小于1 mm,从而证明了裸眼3D技术在显微手术中拥有巨大的潜力^[14]。R J Lapeer利用Sharp裸眼3D显示器和美国DTI公司的2015XLS在显微系统下进行了立体深度评估对比^[15]。但由于体式结构的3D显示器体积太大而且只能供1到2人同时观看,不适合应用于临床手术中。

2.3 双视点裸眼3D系统

双视点图像结合头部跟踪技术使得观察者在改变位置时依然可以获得立体效果,目前这一类裸眼3D显示器以德国的SeeReal公司产品为代表,门斯特医科大学及国内的苏州六六视觉科技都利用这款显示器成功组织了自己的医疗解决方案。通过视频采集卡将两个CCD相机从显微镜上获得的图像传输给电脑,由

自主开发的 DShowGrabber 软件对两幅图像进行像素交叉重排并最终显示。这种方式获得的视觉效果已经很好,基本适合了做手术的要求,但考虑到观看视角及观看人数的要求,这款系统的效果较多视点系统略有不足。

2.4 多视点裸眼 3D 系统

多视点裸眼 3D 技术目前相对最为成功,它在观察视角及可供观察人数方面拥有着很大的优势,当然它的缺点是损失了一定的分辨率^[16]。N A Dodgson 等利用剑桥大学开发的多视点显示器首次将裸眼 3D 技术运用到腹腔镜手术^[17]。现多视点技术多采用 9 视点,视频数据通常转换为 2D-Plus-Depth 格式,比较成熟的产品如美国 TrueVision 公司的多视点裸眼 3D 手术系统,它所采用的大尺寸显示器已经可以满足多人需要,目前已经广泛应用于眼科、神经外科、耳鼻喉科等众多手术领域。

3 裸眼 3D 系统关键技术

近几年新的图像处理技术的不断发展,尤其是相关算法的创新和进步促使 3D 软件开发技术取得了很大进展。可供开发的开源工具也在 3D 技术方面不断更新和提供最新服务。如 OpenCV 视觉库、Kitware 的 VTK 工具包等等,极大地提高了开发人员的效率。3D 软件开发的大体框架如图 3 所示。主要将其分为视差深度图像的获得和由深度图像及参考图像渲染新视点及立体显示两大部分,涉及到立体匹配、相机标定、基于深度的图像渲染等众多技术手段。目前为了突破计算速度的限制,基于图形处理器 (GPU) 的技术开发也

日渐火热,是未来进行计算机软件开发的一个热门方向。

平面裸眼 3D 技术的发展历史不算太长,但技术创新近几年却日新月异。尤其是多视点相关技术在软硬件技术上有更高要求。裸眼 3D 手术系统中最主要的技术要求和特性是实时性和深度准确,各类系统技术不同,主要相关技术有:

(1) 头部跟踪技术。

体式 3D 显示器系统体积大,有复杂的光学结构,但图像处理相对简单。双视点系统需要对左右眼图像进行像素重排或帧顺序处理以满足显示需要,这两类显示器常采用头部跟踪技术。使用红外线或摄像头进行跟踪,Sharp 欧洲实验室采用了两者结合的跟踪方式。根据人的位置变化通过变换分光镜、图像或者移动光源等方法调整以满足观察需要。跟踪技术要求响应快速而稳健,目前能达到毫秒级。较成功的软件算法如 Robust 跟踪算法都能准确获得人眼的空间位置^[18]。

(2) 立体匹配技术。

目前的多视点显示器中以采用 9 视点技术较多,视频需要转换为带有深度信息的 2D-Plus-Depth 视频,而这就需要实时生成深度图像。所谓深度图 (Depth map),即一张利用灰度来反映空间深度的图像,灰度越亮表明距离观察者越近,反之则越远^[19]。图 4 左为手术实时画面,右为深度图像。深度图的计算需要利用几何学和立体匹配,在显微镜上安装的双 CCD 摄像头满足双目视觉理论分析,这是计算的基础^[20];而立体匹配则是系统实现的关键。

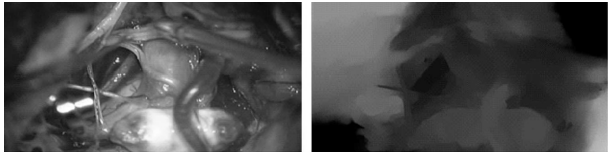


图 4 外科手术画面 (左) 及其深度图像 (右)

系统要求匹配算法快速而准确,国外已有商业 3D 实时渲染软件,如 3D-Fusion 公司与 Philips 公司推出的 WOWvx 软件等算法都比较强大,奠定了 Philips 公司在免眼镜 3D 技术领域的领先地位。国内外针对立体匹配算法的研究也非常热门,Fang Liu 等利用视差和场景流动信息提出了快速高效的深度计算算法^[21];章国锋等提出的基于视频序列的束优化算法、ZIT-NICK 的基于过分割的匹配算法以及 Andreas Klaus 的基于图像分割的置信传播和自适应相异性度量算法等都得到了质量很高的深度图像。利用全局匹配的图像分割^[22]和置信传播的优化算法^[23]可以获得很好的深度图像,但基于能量函数最优化的方式使算法计算量大,耗时长;局部匹配算法速度快但深度图较差,二者

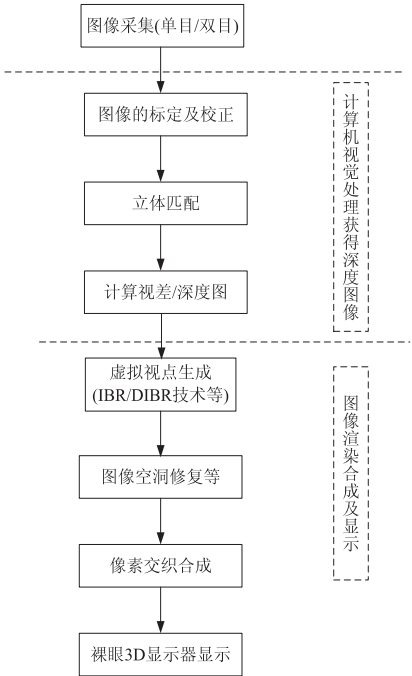


图 3 裸眼 3D 显示软件开发框架

各有优缺点。国内许多大学和研究机构如哈尔滨师范大学、电子科技大学等在亮度匹配、特征匹配、置信传播(BP)算法等都有自己的创新。

(3) 基于深度图像的绘制(Depth Image Based Rendering, DIBR)^[24]。

多视点技术顾名思义需要多个视点,而传统的显示器上最多采用双摄像头的采集方式;这需要在图像处理部分使用DIBR技术,通过深度计算建立多个虚拟视点以满足多视点图像绘制的需要。DIBR技术是Image Based Rendering(IBR)技术的一个重要分支,也是现在比较热门的技术。DIBR技术包括两个步骤,初始图像向立体空间转换(2D-to-3D)和空间点向虚拟相机平面投影(3D-to-2D)。通过变换参数可以获得多个虚拟相机位置的图像,而这些图像是多视点裸眼3D显示技术的基础。国内重庆大学、中国科学技术大学等在基于DIBR的二维转三维视频技术上进行了大量研究,此外如北京大学拥有关于裸眼3D视频生成的专利,我国在各项技术的基础研究上比较成熟,并在机器人导航、三维测量等领域获得了成功,但将这些技术结合运用于显微手术系统开发还几乎没有。

(4) 图像修复技术。

这里的图像修复技术主要包括两方面:一是为了获得质量较好的深度图进行的优化;二是在DIBR技术处理之后的空洞修补。深度图像优化与空洞修补又有着一定的关联,深度图像的预处理如双边滤波、高斯滤波等平滑处理可以消除深度图的突变减少空洞生成;后期空洞修补主要包括基于统计与纹理合成法、偏微分方程法、基于图像样例法等;空洞修补过程如图5所示。而关于图像优化,浙江大学提出了基于几何一致性约束的束优化和空-时融合算法来减少残余的噪声^[25]。

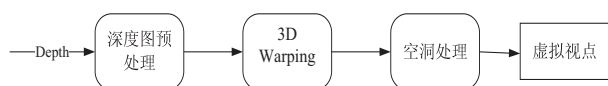


图5 图像空洞修补步骤

4 结束语

作为一项综合了光学、微电子技术等多科学领域的成果,裸眼3D技术的成熟使得它有了更大的用武之地,将其运用于显微手术充当“电子眼”对医学发展具有重要意义,此外,它在图像引导手术(IGS)、增强现实教学、远程监控等方面还有着相当大的研究价值。在国内外大量的基础研究之上,未来这些领域必将是热点,而国内在算法及软件开发方面比国外起步要晚,开发的裸眼3D显微手术平台需要进行大量的研究和探索。

参考文献:

- [1] 赵兴涛. 裸眼3D—3D电视技术发展的必然归宿[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2011(2): 25-29.
- [2] Christopher L A, William A, Cohen-Gadol A A, et al. Future directions in 3-dimensional imaging and neurosurgery: stereoscopy and autostereoscopy[J]. Neurosurgery, 2013, 72: 131-138.
- [3] Kwon K C, Lim Y T, Kim N, et al. High-definition 3D stereoscopic microscope display system for biomedical applications[J]. Journal on Image and Video Processing, 2010(2): 1-8.
- [4] Ilgner J, Park J J H, Labbé D, et al. Using a high-definition stereoscopic video system to teach microscopic surgery[C]//Proc of SPIE. Aachen: International Society for Optics and Photonics, 2007.
- [5] Heath M D, Cohen-Gadol A A. Intraoperative stereoscopic 3D video imaging: pushing the boundaries of surgical visualisation and applications for neurosurgical education[J]. British Journal of Neurosurgery, 2012, 26(5): 662-667.
- [6] Liao H, Inomata T, Sakuma I, et al. 3-D augmented reality for MRI-guided surgery using integral videography autostereoscopic image overlay[J]. IEEE Trans on Biomedical Engineering, 2010, 57(6): 1476-1486.
- [7] Chios P, Linney A D. The design process of an autostereoscopic viewing interface for computer-assisted microsurgery[C]//Proc of IEEE international conference on systems, man and cybernetics. [s. l.]: IEEE, 2004: 136-143.
- [8] 郑华东, 于瀛洁, 程维明. 三维立体显示技术研究新进展[J]. 光学技术, 2008, 34(3): 426-430.
- [9] 孔令胜, 南敬实, 荀显超. 平面三维显示技术的研究现状[J]. 中国光学与应用光学, 2009, 2(2): 112-118.
- [10] Dodgson N A. Autostereoscopic 3D displays[J]. Computer, 2005, 38(8): 31-36.
- [11] 王婧. 裸眼3D技术及其应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- [12] 郑富强. 手术显微镜概况及新进展[J]. 医疗卫生装备, 2004, 25(6): 48-49.
- [13] 刘冲, 徐征, 王立鼎, 等. 微操作系统的实时显微立体成像研究[J]. 中国机械工程, 2002, 13(18): 1567-1569.
- [14] Chios P, Tan A C, Linney A D, et al. The potential use of an autostereoscopic 3D display in microsurgery[C]//Proc of MICCAI'99. Berlin: Springer, 1999: 998-1009.
- [15] Lapeer R J, Tan A C, Linney A, et al. Stereo depth assessment experiment for microscope-based surgery[C]//Proceedings of the 2nd IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality. [s. l.]: IEEE Computer Society, 2003: 272-273.
- [16] Dodgson N A, Moore J R, Lang S R. Multi-view autostereoscopic 3D display[C]//Proceedings of the international broadcasting convention. [s. l.]: [s. n.], 1999: 497-502.
- [17] Dodgson N A, Wiseman N E, Lang S R, et al. Autostereoscopic

(下转第178页)

实用性。

表 1 各类标志检测准确率

标志类型	标志个数	成功检测个数	准确率/%
指示	1 985	1 850	93.20
禁令	1 568	1 311	83.61
警告	359	278	77.44

3 结束语

文中提出基于颜色和形状共同作用来进行目标检测的方法。在实时性的基础上能够有效地分割出背景和目标,不仅能够准确完整地提取目标,而且对光线、背景干扰不敏感,具有良好的鲁棒性且满足实时性要求。不足之处在于,对于形状残缺交通标志,识别结果较差。笔者觉得在形状处理方面,将几何形状特征与骨架相结合在残缺标志检测方面会有好的检测结果。

参考文献:

[1] 张 卡,盛业华,赵东保. 视觉可量测实景影像的道路交通标志自动检测[J]. 仪器仪表学报,2012,33(10):2270-2278.

[2] 徐华青,陈瑞南,林锦川,等. 道路交通标志检测方法研究[J]. 福州大学学报:自然科学版,2010,38(3):387-392.

[3] 马凌蛟. 基于颜色和形状特征的图像检索技术及其应用[D]. 长春:吉林大学,2011.

[4] Shi Min, Wu Haifeng, Fleyeh H. Support vector machine for traffic signs recognition[C]//Proc of IEEE international joint

conference on neural networks. Hong Kong:IEEE,2008:3820-3827.

[5] Ciresan D,Meier U,Masci J,et al. A committee of neural networks for traffic sign classification[C]//Proc of the 2011 international joint conference on IEEE. [s. l.] : IEEE,2011:1918-1921.

[6] Vitabile S,Pollaccia G,Pilato G,et al. Road signs recognition using a dynamic pixel aggregation technique in the HSV color space[C]//Proc of the 11th international conference on image analysis and processing. Palermo, Italy:IEEE,2001:572-577.

[7] 周 瑜,刘俊涛,白 翔. 形状匹配方法研究与展望[J]. 自动化学报,2012,38(6):889-910.

[8] 王新成. 高级图像处理技术[M]. 北京:中国科学技术出版社,2011.

[9] Boi F, Gagliardini L. A support vector machines network for traffic sign recognition [C] // Proc of the 2011 international joint conference on IEEE. [s. l.] : IEEE,2011:2210-2216.

[10] 孙光民,王 晶,于光宇,等. 自然背景中交通标志的检测与识别[J]. 北京工业大学学报,2010,36(10):1337-1343.

[11] 翟俊海,赵文秀,王熙照. 图像特征提取研究[J]. 河北大学学报:自然科学版,2009,29(1):106-112.

[12] 朱利成,姚明海. 基于 SIFT 算法的目标匹配和识别[J]. 机电工程,2009,26(12):73-75.

[13] Kastner R, Michalke T, Burbach T, et al. Attention-based traffic sign recognition with an array of weak classifiers [C] // Proc of intelligent vehicles symposium. [s. l.] : IEEE,2010:333-339.

+++++

(上接第 173 页)

3D display in laparoscopic surgery [C] // Proc of CAR. Berlin: Springer,1995:1139-1144.

[18] Stolle H,Olaya J C,Buschbeck S,et al. Technical solutions for a full-resolution autostereoscopic 2D/3D display technology [C] // Proc of SPIE. [s. l.] : International Society for Optics and Photonics,2008:1-12.

[19] 徐 萍. 基于深度图像绘制的二维转三维视频关键技术研究[D]. 南京:南京邮电大学,2011.

[20] Marr D,Poggio T. A computational theory of human stereo vision[J]. Proc of the Royal Society of London B,1979,204(1156):301-328.

[21] Liu F,Philomin V. Disparity estimation in stereo sequences using scene flow[C]//Proc of BMVC. London:BMVC,2009:1-11.

[22] Boykov Y,Veksler O,Zabih R. Fast approximate energy minimization via graph cuts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2001,23(11):1222-1239.

[23] Sun J,Zheng N N,Shum H Y. Stereo matching using belief propagation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2003,25(7):787-800.

[24] Fehn C. Depth-image-based rendering (DIBR), compression, and transmission for a new approach on 3D-TV [C] // Proc of SPIE. [s. l.] : International Society for Optics and Photonics,2004:93-104.

[25] Zhang G,Jia J,Wong T,et al. Consistent depth maps recovery from a video sequence [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2009,31(6):974-988.

裸眼3D技术在显微手术中的研究与应用

作者：[李超](#)，[沈建新](#)，[梁春](#)，[LI Chao](#)，[SHEN Jian-xin](#)，[LIANG Chun](#)

作者单位：[南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京, 210016](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(7)

引用本文格式：[李超](#). [沈建新](#). [梁春](#). [LI Chao](#). [SHEN Jian-xin](#). [LIANG Chun](#) [裸眼3D技术在显微手术中的研究与应用](#)

[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(7)