

文章编号: 1001-3806(2006)01-0001-04

激光三角法在生物医学领域中的若干应用

吴剑波, 骆清铭*

(华中科技大学 生命科学与技术学院 生物医学工程系, 武汉 430074)

摘要: 对激光三角法在生物医学工程中的应用进行了讨论、分类和总结, 对激光三角法在生物医学领域中的更进一步应用具有实际指导意义。

关键词: 医用光学与生物技术; 生物医学工程; 生物医学测量; 激光三角法; 激光扫描

中图分类号: R318.51 文献标识码: A

Biom edical applications of laser triangulation

WU Jian-bo, LUO Qing-ming

(Department of Biomedical Engineering, School of Life Science and Technology, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract With the fast development of the new subject of biomedical optics/photronics, an investigation into laser triangulation for its biomedical application is presented by discussing, classifying and summarizing which will be instructive for the further research and development of laser triangulation in biomedical application.

Key words medical optics and biotechnology; biomedical engineering; biomedical measurement; laser triangulation; laser scanning

引 言

生物医学领域中光学方法的应用受到越来越广泛的关注, 因而出现了生物医学光学、光子学等新兴研究领域和学科。这些方法主要应用于对生物体、器官、组织甚至细胞、神经等不同层面的结构和功能信息的获取, 对于辅助诊断、辅助医疗以至于揭示生命现象的本质等都具有重要意义, 如较早出现的 CT (computed tomography), 以及如今的近红外功能成像、数字散斑成像、光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 等。光学技术应用于生物医学还见于各种基于光学特性的高精度显微镜中, 如激光共聚焦显微镜等。作为一种经典的获取三维结构信息的方法, 激光三角法以其非接触性、无损性及其较高的精度而在生物医学领域中占有一席之地。与其它方法不同, 激光三角法主要利用其测量原理用于对物体表面三维结构信息的获取或精确定位上。为了对激光三角法在生物医学领域中的应用有一个更全面的认识, 从而有利于更进一步地深入研究, 作者通过对文献的调研, 按照其用途的不同, 将这些应用进行了分类。下面将分别对其原理、应用作较详细的论述, 并对其进行讨论和总结。

作者简介: 吴剑波 (1974-), 男, 博士后, 主要从事计算机视觉、图像处理、光电检测等研究。

* 通讯联系人。E-mail: qluo@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2004-12-08 收到修改稿日期: 2005-01-26

1 原 理

激光三角法因其原理简单、易于实现等特点在许多领域得以广泛的应用, 如工业制造、航空测量、土木建筑、生物医疗等。根据其激光投射形状的不同, 分为光点投影式和光带投影式, 分别表示其投影为单个激光光斑和一条激光光带。当投影为光带时, 该光带又被称为片光或者更形象的称为光刀, 其测量方法则被称为光切法。一般情况下, 激光三角法在获取物体三维表面信息时常采用逐点或逐线扫描的方式以得到整个面形的信息, 因此又常被称为激光扫描法。

激光三角法作为一种常用的方法, 其基本原理相当简单, 如图 1 所示, 当入射光 I 投射到基准面 M 上的

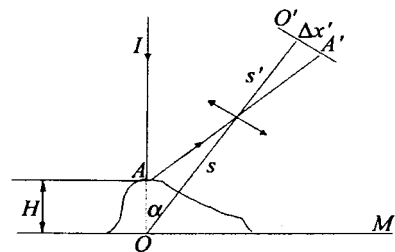


图 1 激光三角法基本原理

O 点时, 其成像点位于 CCD 靶面的 O' , 当 I 受到物体表面高度 $H (\Delta x)$ 的调制后, 其成像点则偏移 $\Delta x'$ 位于 A' , 根据图中的三角几何关系可以得到:

$$H + \Delta x = \frac{s}{(s/\Delta x') \sin \alpha + \cos \alpha} \quad (1)$$

式中, H 为被测点相对于参考平面的位移量, α 为入射光束与成像光束的夹角, s 为基准点 O' 的物距, s' 为基准点的像距, $\Delta x'$ 为成像屏上像点的位移量。

图 1 中入射光 I 为垂直入射, 称为垂直入射方式。相应的, 还有斜入射的方式。由于光线的入射与反射角度, 激光三角法常存在着测量盲区的问题, 也就是遮挡问题, 在实际应用中常采用对称放置双光源或者双 CCD 的方法来解决。

2 应用

激光三角法最常见的应用在于工业制造领域, 主要作为一种测量手段用于对工件表面三维结构信息的获取或加工中的精确定位上, 例如在逆向工程中, 首先利用激光三角法对物体表面进行测量, 获得数据后生成 STL 文件再进行快速成型制造。同样, 在生物医学领域中, 激光三角法也主要用于表面信息获取和定位。根据其用途, 将其在生物医学中的应用大致的分为 3 类: 获取表面三维结构信息、测定生物组织的力学特性、在手术和诊断中的精确定位。以下分别对这 3 个方面的应用进行讨论。

2.1 表面三维信息的获取

目前, 在生物医学领域中, 可视化技术的应用越来越广泛, 从结构仿真到功能模拟, 从器官到细胞、神经元, 从研究到教育, 从诊断到手术, 所见即所得的可视化思想体现在各个不同的层面上, 而可视化必须以先获得物体的实际结构信息为基础。激光三角法作为一种非接触的、无创的三维面形结构信息获取方法在生物医学中也得到长足应用, 使生物医学可视化成为可能。

激光三角法首先被用在获取人体整体或局部的三维表面信息上。美国 ADDLEMAN^[11] 和荷兰 TNO 人体特征研究所的 DAANEN^[12] 分别从不同的角度对 Cyberware 公司开发的 WB4 三维人体扫描仪进行了讨论, 并对精度等问题进行了分析。VENEDIKTOV^[13] 用激光三角法为在整形外科手术中所需的一些假体提供必要的几何尺寸。JIN 等^[4] 将激光三角法用于口腔修复, 通过对金属全冠桥的蜡型扫描得到全冠桥的三维重建模型数据, 该数据可直接输入快速成型系统, 直接加工出树脂或金属全冠桥, 并应用于临床。台北科技大学的 CHEN^[5] 也设计了自己的系统, 采用双光源、三 CCD 方式对牙齿模型进行扫描, 用于牙科临床。PAUL^[6] 和 CHA^[7] 也用类似的方法对畸齿矫正问题进行了相关研究。HARRISO^[8] 用一种简便的激光扫描仪实现对患者脸部手术后的水肿情况进行监测。WU^[9] 则用回转扫描的方式将激光三角法用于人体头部的三维重建。从生物医学研究与教育的角度, RYDMARK^[10] 通过对头盖骨、人脑模型以及福尔马林固定的人脑实体

的扫描实验, 对激光三角法获取生物体和器官的三维表面信息的技术进行了讨论, 对实验得到的点云图数据用 NURBS 实现三维建模, 并与通过断层扫描方法 (如 CT, MRI 等) 获得的三维模型进行了比较。为了提高数据获取速度, 以上方法都采用了线扫描的方式。HSUEH^[11] 则采用点扫描方式实现对牙齿的三维信息获取以提高测量精度, 用光电方式实现了类似于三坐标测量机的复杂面形的三维测量, 并且对数据误差、多视角融合等问题给出了解决方案。YAMAMOTO^[12] 设计的系统则不仅用于获取牙齿模型的三维信息, 而且能对牙齿的磨损、移动等为临床提供依据。

激光三角法对表面信息的获取还用在对患者伤口的测量上, 如伤口的面积、体积等, 用于伤口康复诊断治疗和研究, 如 KROUSKOP^[13] 投影 16×16 的激光点阵到伤口表面, 图像采集后通过对图像的处理得到创伤的面积, 并通过三角法可以得到创伤在深度上的三维信息, 用于对伤口的发展或者恢复进行监测或对治疗方案进行评估。MARJANOVIC^[14] 则直接用激光扫描完成溃疡面的体积测定。这种方法相对于传统的生理盐水注入法、贴片法等具有无接触、无感染等优点。

从以上的应用可知, 激光三角法在生物医学中用于表面结构三维信息的获取上得到了广泛的关注和实施, 并取得了良好的效果。图 2 中给出了一个用激光三角法获取人体面形三维信息的实例^[9], 该实验结果已对所得数据进行了拟合和可视化显示。



图 2 激光三角法用于获取三维表面信息实例

2.2 生物组织的力学特性测定

从研究角度看, 在医疗或诊断中都需要对一些生物组织的机械或者力学特性 (如拉伸性能、压缩性能、弹性、震动等) 进行测试与分析。

一般来说, 对生物组织形变的测试都需要离体进行, 即将组织从生物体上分离出来。对于体内组织, 也需要将其外部组织剥离, 例如, 对关节软骨等进行测试时, 需要将软骨从关节中分离开。激光三角法为组织形变的测量提供了一种有力的工具。美国弗吉尼亚州立大学的生物医学工程系的 ARAJ 设计了一个系统, 该系统能够无创的对关节表面进行测试, 由此对软骨特性进行评定^[15]。系统中用激光三角法对关节表面的变形进行观察, 通过对变形数据的分析来得到软骨拉伸性能。其原理可简单描述为: 采用真空泵用微吸

管法给软骨表面施加负压,用激光三角法观察在负压情况下软骨表面的变形情况。系统中采用的激光是波长为 670nm 红色光源,工作范围为 80mm \pm 15mm,精度达到 1 μ m。图 3 中给出的实验结果为在 3 个 30s 间隔内、不同负压情况下软骨表面的形变情况,表明激光三角法能够较好地实现对软骨表面形变的较高精度的测量^[15]。ARA J 指出,该方法可用于其它软组织的表面形变测量上。

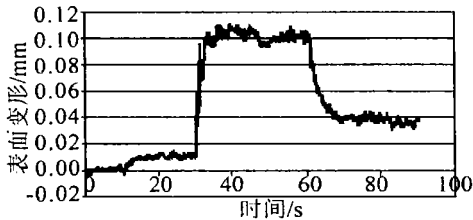


图 3 软骨表面形变实验数据图

激光三角法还用于测量一些组织(如声带等)的振动。如瑞典的 MANNEBERG^[16]即用激光三角法对声带在发声过程中垂直方向上的震动情况进行了研究。

2.3 手术和诊断治疗中的精确定位

在当今的诊断医疗中,基于图像、基于模型的计算机辅助诊断 医疗系统日益成为医学界的主流,如 GS (image-guided surgery)等手术导航系统。这些系统都要求医生在手术前对病人患处的相关信息有相当清晰的认识和了解,如肿瘤的尺寸、具体位置等。目前,要得到这些信息一般都通过 CT、MRI 等光学成像的方法对目标进行断层成像,而后通过计算机处理得到该部位的三维模型。在过去,对于一个经验丰富的手术医生,这些信息似乎已经足够他对手术进行安排和实施。但是在科技飞速发展的今天,术前资料在手术过程中已经不足以提供必要信息以指导手术了,如手术过程中组织的切除造成的变形、移动等需要补偿,人体的移动则需要重新定位等,例如, SUN 指出^[17],当前的神经导航系统面临着两个问题:一是术前图像与其在手术室中的位置如何实现自动化的、稳定的配准,二是在手术过程中提供与原图像配准精度相当的脑部变形补偿。

可见,图像、模型等在手术过程中的实时更新变得越来越重要。激光三角法为这种实时更新的需求提供了一个可靠的工具。MIGA^[18]等人为了在神经外科手术中实现对脑皮层表面配准和模型的实时重建,使用激光三角法结合图像纹理实时获取手术表面的三维信息,再定位以指导更精确的手术。其精度达到亚毫米级。CASH^[19,20]则将该方法应用于肝脏手术中。在国外,利用激光三角法对手术导航进行定位已经形成了一些产品,如 ACUITY 公司报告说他们的一种产品 AR600 使用激光三角法可以实现手术导航定位。

在对肿瘤等的放射治疗中,为了对病人的运动、移

动情况进行实时监控并保证正确的放射剂量的调整,激光三角法也和 MRI、CT、超声等其它方法一起用于病人定位或病人的位移测量^[21,22]。图 4 是 MOORE 设计的用于直肠癌放射治疗中进行病人定位的示意图^[22],图 4a 为其系统装置图,投影和成像设备安装于房顶;图 4b 是其投影图,包括条纹投影和激光光斑投影,图中亮点即为激光光斑,通过激光三角法用于准确的三维定位;图 4c 则是其得到的病人下腹处三维效果图。由图可见,MOORE 将激光三角法和干涉条纹投影相结合用于放射治疗中的三维定位取得了很好的效果。

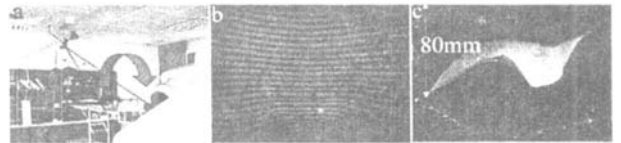


图 4 激光三角法用于病人定位实例

3 讨论和总结

光学方法的应用成为生物医学领域中的一个新的研究热点。激光三角法作为一种传统的光学测量方法在其中也得到了广泛的关注。对激光三角法在生物医学领域中的应用进行了调研和分类,大量的应用说明了其以无接触、无创和高精度等特点在生物医学领域中得到了充分的肯定,也表明了其应用的价值。

从对文献的调研可以看出,激光三角法不论是用于表面结构信息的获取上还是用于精确定位上,有几个方面的问题将成为将来研究的重点,也应该引起研究者的重视。一是在信息获取中速度和精度的统一问题。在许多应用中都要求实时的获取数据以实现模型的实时更新,如何根据研究对象的不同和精度要求的不同来实现速度和精度的统一问题是必须解决的,扫描方式、投影光模式的不同选择将会导致不同的效果。二是将激光三角法和其它测量/定位方法的集成问题。在一些应用场合,由于激光三角法本身也存在一些问题,如上面提到的遮挡问题等,需要将其它方法与其一起结合使用,如立体视觉方法、相位测量法等。三是与其它医疗仪器的配合使用,如现在已经相对成熟的 CT、MRI 以及现有的手术导航系统等。另外,在调研中还发现,以上应用中的一些研究,比如基于模型的手术导航系统中的模型实时更新、放射治疗中病人体位的精确定位与监控等,在国外已经得到比较深入的研究与发展,有的甚至出现了产品。但是在国内,医疗和诊断中采取的还是一些较传统的方法,而这方面的研究文献甚少,这一点也必须引起国内研究者的关注。

参 考 文 献

- [1] ADDLEMAN S R. Whole-body 3-D scanner and scan data report [J]. Proc SPIE, 1997, 3023: 2~ 5

- [2] DAANEN H A, TAYLOR S E, BRUNSMAN M A *et al*. Absolute accuracy of cyberware WB4 whole body scanner [J]. Proc SPIE, 1997, 3023: 6~ 12
- [3] VENEDIKTOV A Z. The laser triangulation meter for a system of measurement of geometrical parameters of prosthesis of a stump [J/OL]. http://webcenter.ru/~ipzhr/jr_e/bimed.htm 2004-12-20.
- [4] JIN Sh R, YAO Y L, GAO B. An experimental study of three-dimensional reconstruction of the molar metal full crown with laser scan [J]. Chinese Journal of Prosthodontics, 2003, 4(1): 47~ 48(in Chinese).
- [5] CHEN L Ch, XU Zh Q. Development of innovative 3-D dental measurement technique and manpower for tooth model restoration through university-industry collaboration programs [J/OL]. <http://www.ccn.tut.edu.tw/~wwwatc/aoi/hm2/AO%20Introduction.pdf> 2004-12-20.
- [6] PAUL I, BÜCHNER K, GAST R. Digital documentation of individual human jaw and tooth forms for applications in orthodontics, oral surgery and forensic medicine [A]. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society [C]. Aachen Germany: Piscataway IEEE, 1998. 1098~ 1102.
- [7] CHA B K, LEE J Y, CHO T H. Orthodontic applications using 3-D reverse engineering technique 3-D in ensional facial profile evaluation by national dentistry association of korea [J/OL]. http://www.rapiform.com/success/success_3_2.htm, 2004-12-20
- [8] HARRISO JA, N KON M A, FRIGT W R *et al*. Use of hand-held laser scanning in the assessment of facial swelling: a preliminary study [J]. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2004, 42(1): 8~ 17.
- [9] WU JB, SANG B, ZHAO H *et al*. 3-D measurement system for human head in reverse engineering [A]. Proceedings of 2001 International Conference on Commerce Engineering New Challenges for Global Manufacturing in the 21st Century [C/CD]. Beijing: China Machine Press, 2001.
- [10] RYDMARK M, BRODENDAL J, FOLKESSON P *et al*. Laser 3-D scanning for surface rendering in biomedical research and education [J]. Study on Health Technological Informatics, 1999, 62(2): 315~ 320.
- [11] HSUEH W J, ANTONSSON E K. Automatic high resolution optoelectronic photogrammetric 3-D surface geometry acquisition system [J]. Machine Vision and Applications, 1997, 10(3): 98~ 113.
- [12] YAMAMOTO K, HAYASHI S, NISHIKAWA H *et al*. Measurements of dental cast profile and three dimensional tooth movement during orthodontic treatment [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1991, 38(4): 360~ 365.
- [13] KROUSKOP T A, BAKER R, WILSON M S. A noncontact wound measurement system [J]. Journal of Rehabilitation Research and Development, 2002, 39(3): 337~ 346.
- [14] MARJANOVIC D, DUGDALE R E, VOWDEN P *et al*. Measurement of the volume of a leg ulcer using a laser scanner [J]. Physiology Measurement, 1998, 19(4): 535~ 543.
- [15] ARA J M, J WAYNE J S. Surface aspiration system: a new testing methodology to nondestructively assess the mechanical behavior of articular surfaces [A]. Proceedings of 2003 Summer Bioengineering Conference [C]. Florida: IEEE, 2003. 559~ 560.
- [16] MANNEBERG G, HERTEGARD S, LILJENCANTZ O. Measurement of human vocal folds vibrations with laser triangulation [J]. Optical Engineering, 2001, 40(9): 2041~ 2044.
- [17] SUN H, FARID H, ROBERTS D W *et al*. Noncontacting 3-D Digitalizer for use in age-guided neurosurgery [J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2003, 80(1): 120~ 124.
- [18] MIGA M I, SNHAT K, CASH D M *et al*. Cortical surface registration for image-guided neurosurgery using laser range scanning [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2003, 22(8): 973~ 985.
- [19] CASH D M, SNHAT K, CHAPMAN W C *et al*. Incorporation of a laser range scanner into image-guided liver surgery: surface acquisition, registration, and tracking [J]. Medical Physics, 2003, 30(7): 1671~ 1682.
- [20] CASH D M, SNHAT K, CHAPMAN W C *et al*. Fast accurate surface acquisition using a laser range scanner for image-guided liver surgery [J]. Proc SPIE, 2002, 4681: 100~ 110.
- [21] MAH D, STECNER M, HANLON A *et al*. MRI simulation effect of gradient distortions on three-dimensional prostate cancer plans [J]. International Journal of Radiation Oncology Biological Physics, 2002, 53(3): 757~ 765.
- [23] MOORE C, LILLEY F, SAURET V *et al*. Optoelectronic sensing of body surface topology changes during radiotherapy for rectal cancer [J]. International Journal of Radiation Oncology Biological Physics, 2003, 56(1): 248~ 258.

• 简 讯 •

LASER World of Photonics China倾力打造世界顶级激光、光电子专业盛会

业内知名企业大规模参展。

同期专业研讨会触及激光产业最前沿。

与第5届慕尼黑上海电子展同场打造全球化应用科技交流平台。

2006年3月21日至23日,首届LASER World of Photonics China(LASER China)将在上海新国际博览中心隆重开幕。届时将有国内外100多家展商参展,展会主要分为激光元件、激光设备两大展区,覆盖整个激光、光电子产业链,展会期间还将举行多场高质量的激光技术国际研讨会。其中包括:由德国经济劳工部发起的“中德企业合作洽谈会”,以及与汉诺威激光中心合办的“中德激光技术的现状、趋势与发展研讨会”。

作为德国慕尼黑国际博览集团针对中国市场的又一力作,LASER China将继承母展LASER World of Photonics的“国际化”特点,具有同行业其它展会不可比拟的优势,其70%参展商是活跃在全球市场的国际性领先企业。LASER China还将与第5届慕尼黑上海电子展同期同地举办,与电子工业这一激光产业的主要应用领域充分互动,共同打造全球化交流平台和国际性顶级专业盛会。

详情请登录展会官方网站 <http://www.laserchina.net>

联系人:王珊珊

电话: + 86-21-50450808

传真: + 86-21-50457937

邮箱: karen.wang@mmsi.shanghai.com

王德璐

电话: + 86-21-64378880-109

传真: + 86-21-64378880-105

邮箱: angelawang@thundersh.com