

信号与信息处理

水下目标彩色三维重建方法研究

董 会,孔倩倩,温亚楠,杨 宇

(青岛市光电工程技术研究院,山东 青岛 266019)

摘 要:针对传统的线结构光扫描法无法获得水下目标彩色信息的问题,提出了一种RGB激光扫描方法,设计了水下目标三维扫描系统。采用RGB三基色激光合并成一束白光光源,经过标定板标定后,对水下目标进行扫描。CCD相机采集目标彩色信息,通过计算机算法,实现了水下目标的三维重建并复原了目标的彩色信息。重建结果表明,水下目标颜色再现真实准确,此方法计算量小、扫描速度快、效率高,可以实时获取并重建水下目标的彩色三维信息。

关键词:水下三维成像;结构光扫描;RGB激光扫描;三维重建

中图分类号:TN942.2;TB853.18

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2017)-03-0046-03

Research on Underwater Target Color Three-dimensional Reconstruction Method

DONG Hui, KONG Qian-qian, WEN Ya-nan, YANG Yu

(Qingdao Academy for Opto-Electronics Engineering, Qingdao 266019, China)

Abstract: The traditional laser line scanning method cannot acquire the color information of underwater targets. A red green blue (RGB) laser scanning method is proposed to design a 3D scanning system for underwater targets. RGB three primary colors laser combined into a beam of white light source, after calibrated by the calibration board, the underwater targets are scanned. The CCD camera is used to collect the color information of the targets, and the 3D reconstruction of the underwater targets is realized and the color information of the targets is obtained through computer algorithm. Reconstruction results show that the color reproduction of underwater targets is real and accurate. The method has the advantages of small computation, fast scanning speed and high efficiency. The 3D color information of underwater targets is acquired and reconstructed in real time.

Key words: underwater three-dimensional (3D) imaging; structured light scanning; red green blue (RGB) laser scanning; three-dimensional (3D) reconstruction

水下图像探测是海洋探测的重要方式,利用水下三维重建方法,可将图像或者数据重建为三维图像,可以实现三维测量和形貌再现,效果更加直观。在水下环境监测、海底地图绘制、水下资源勘测、水下遗迹考古等方面有着广泛的应用。目前,随着对海洋资源的开发利用,海洋科技已经成为各国综合实力较量的重点之一,水下三维重建方法逐

渐成为海洋科技探测领域的研究热点。

由于水对光的吸收和散射,严重影响了水下图像的质量,使得水下镜头成像性能和距离受到限制。吸收使得光能量指数衰减^[1],观测距离受限,图像模糊,颜色发生偏离^[2-3],造成目标颜色信息的丢失。前向散射和后向散射光在图像上形成噪点,影响图像的质量,造成对比度降低、细节特征模糊,无

收稿日期:2017-05-10

基金项目:国家自然科学基金(61505218)

作者简介:董会(1986-),女,吉林四平人,硕士,工程师,主要从事光学设计工作;温亚楠(1981-),女,博士,高级工程师,主要从事光学信息处理方面工作。

法分辨。针对以上问题,提出了一种RGB激光扫描方法进行水下目标的彩色三维重建,设计了水下目标三维扫描系统,实现了水下目标的三维重建并复原了目标的彩色信息。实验结果表明,水下目标颜色再现真实准确,此方法计算量小、扫描速度快、效率高,可以实时的获取并重建水下目标的彩色三维信息。

1 基本原理

1.1 颜色的标定与补偿

CCD相机记录的彩色信息与物体的真实颜色之间有一定的偏差,同时用于扫描的RGB三色激光构成的颜色空间与CCD相机的颜色空间也不一致,因此扫描系统中的RGB激光需要进行颜色标定。

标定时采用CCD相机扫描标准色板^[4],方案中采用24色标准色板,记录彩色图像,这样会得到24组RGB记录值。通过Matlab软件对标准色板的标准值与CCD相机记录值进行三次多项式曲线拟合,得到如下关系式

$$\begin{aligned} R &= A_r r^3 + B_r r^2 + C_r r + D_r \\ G &= A_g g^3 + B_g g^2 + C_g g + D_g \\ B &= A_b b^3 + B_b b^2 + C_b b + D_b \end{aligned} \quad (1)$$

通过式(1)可以确定各项系数,在扫描时,每一组CCD相机记录 r 、 g 、 b 值,按照式(1)都可以得到修正后的 R 、 G 、 B ,因此实现了CCD三基色的标定。

受水下吸收和散射的影响,光强随传播距离的增加而衰减,这种衰减不仅与水深和水质有关,还与光的波长有关。通常情况下,长波在水中衰减相对于短波更加严重,正因为如此水下图像会偏向蓝绿色,这种图像颜色偏差造成了水下目标图像颜色的失真,必须通过技术手段进行颜色补偿。

水下光能量衰减模型为

$$I = I_0 e^{-cl} \quad (2)$$

式中, c 为体积衰减系数,表示光传输1 m距离后光能量衰减的对数值(自然对数),单位是 m^{-1} ^[5]。在不同的深度上,光的衰减是不同的。利用CCD相机扫描标准色板相同色块进行成像,可以得到一组不同深度的CCD相机记录衰减值。利用Matlab算法,拟合出记录衰减与标准值的曲线,即RGB水下光衰减曲线,据此可以计算水下光衰减的倍数。通过调节光强即光源输出功率的方法,可以实现补偿水

下光的衰减。

1.2 线结构光扫描法

传统的线结构光扫描方法如图1所示。

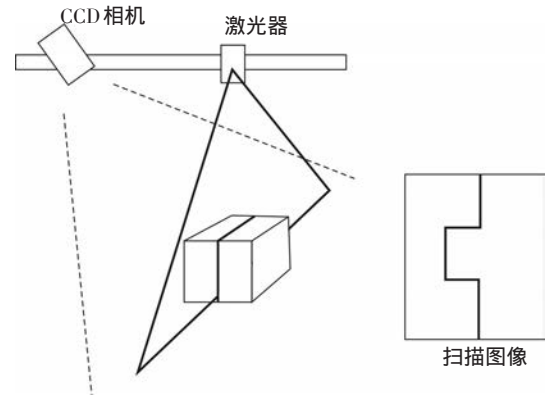


图1 线结构光扫描示意图

图中,激光光源与CCD相机安装在导轨上,可实现水平方向移动。线光源垂直向下扫描目标,相机从一侧拍摄扫描目标图像,在扫描过程中,光由于物体表面的高低不同发生弯折。根据所记录的线光二维图像中某光点所在的像素位置坐标,通过标定等处理可以计算出该点在真实世界中的三维空间坐标。逐一计算线光上的所有光点得到该线上光点的三维坐标。在一次扫描结束后,在扫描方向上进行数据叠加,就得到整个目标表面的坐标信息,重建物体的三维形貌^[6-7]。

由图1可以看出,激光器光源、水下目标、CCD相机组成了结构光扫描系统,三者构成一个三角形,因此该方法又常称为光学三角测量法。当光在目标物体表面上扫描移动时,目标物体表面形成了由表面形状调制的光条图像,光条上的不同点曲率不同,该曲率取决于相机与激光光源的相对位置及目标表面的轮廓(高度);同时,在CCD相机成像面上,光线的位置也会发生变化,根据三角关系可计算出图像中光线的移动距离,反之,已知图像中光线的移动距离,可以得到物体表面移动量。简化后的公式如下

$$\Delta H \approx \frac{1}{d \sin \theta} \Delta h \quad (3)$$

式中, ΔH 为目标物体表面移动量; d 为相机透镜后主面到成像面中心的距离; Δh 为CCD图像中光线的位移; θ 为激光器光轴与CCD光轴间的夹角^[8]。

1.3 三维重建算法与步骤

(1) CCD相机的标定^[9]

激光光源扫描标定板,标定板为网格,扫描后记录的标定板图像中每个交叉点可以确定一个像素坐标 (i, j) ;同时每一个标定板上的十字交叉点上的世界坐标 (x_w, y_w, z_w) 都是确定的,建立像素坐标与世界坐标的映射关系,即可得到坐标转换矩阵为

$$(x_w, y_w, z_w) = f(i, j) \quad (4)$$

(2) 坐标转换

扫描图像中每个已知的像素点坐标都可以通过转换矩阵转换为世界坐标,遍历图像中所有的点,并沿扫描方向累加,即可得到三维重建图像。

2 水下目标扫描与三维重建

2.1 水下目标彩色扫描

在线结构光扫描法基础上,提出一种RGB激光扫描方法。RGB三基色激光作为主动光源,从R激光器出射的激光通过第一面反射镜与G激光器出射的激光在第一面分光镜处合并成一束光,之后再与B激光器出射的激光在第二面分光镜处合并成一束光,经过第二面反射镜后通过柱面镜整形成白光线结构光。系统装置如图2所示。

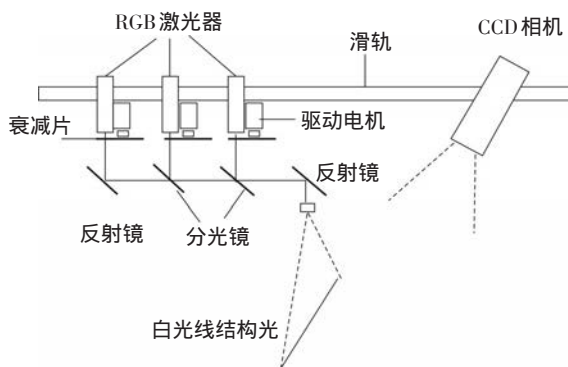


图2 线结构光扫描示意图

图2中,RGB三基色激光器与CCD相机安装在直线滑轨上,三个步进驱动电机分别安装在RGB激光器的一侧,每个激光器的激光出射口处安装有衰减片,可由步进电机带动旋转。三个步进电机的另一端连接计算机,当CCD相机标定后,根据水下衰减曲线,得到补偿值,输出给三个步进电机,通过调

节衰减片,进一步调节激光器输出光强,实现颜色的补偿。

系统中选用的RGB衰减片为窄带滤波片,中心波长分别为655 nm、532 nm、415 nm,与激光器中心波长一致,CCD相机像元大小 $8 \mu\text{m}$,分辨率为 1024×1024 ,扫描目标为海螺、扇贝壳。当对水下目标进行扫描时,滑轨同时带动激光器组件和CCD组件,白光线结构光匀速扫描目标物体表面,扫描的速度决定了采样频率。实验中系统扫描速度为4 mm/s,可以得到采样频率为12 帧/s,三维重建精度可以达到毫米量级。

2.2 三维重建与颜色补偿

相机以视频的方式记录图像数据并存储在计算机中,在计算时需要将视频转换成图像序列,通过算法将图像中的有效区域裁剪。扫描完成后,根据式(4)对扫描记录的图像进行坐标变换^[10],得到图像的二维矩阵,沿扫描方向上叠加,可以得到三维矩阵,即可得到三维重建图像,完成目标场景的三维信息重建。由于目标物外形和表面的不规则性,有时会造成扫描的盲区,因此在实验中进行了多次不同角度的扫描以及三维重建结果的匹配,结果如图3所示。经过颜色补偿后的结果如图4所示。

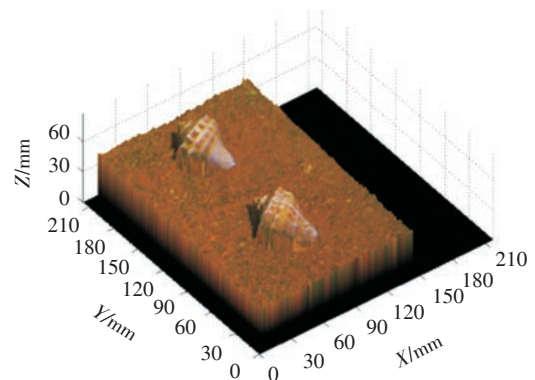


图3 水下彩色三维重建

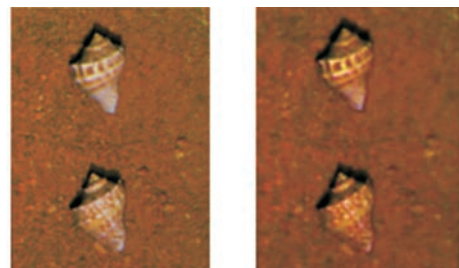


图4 颜色补偿结果 (下转第58页)

4 结论

设计了一种基于静电探测理论的微弱信号检测电路,该电路基于动态电荷检测法。仿真结果表明,该电路具有较好的信号放大功能和较高的灵敏度。检测电极感应到的电流经过后续电路的放大、处理,可以识别出空中飞过的带电目标。如果在一个位置不同方向上摆放多个静电探测电极,通过面向不同方向的探测电极上的感应电流强度,经过处理,还可以得到空中静电目标的位置信息。

参考文献

- [1] 董志鹏. 电子战和信息战技术与装备[M]. 北京: 原子能出版社, 航空工业出版社, 兵器工业出版社, 2003.
- [2] 陈曦. 被动式地面静电探测技术研究[D]. 北京: 北京理

- 工大学, 2005.
- [3] 白强, 夏善红, 陈绍凤, 等. 新型旋片式空中电场探测器及应用[J]. 电子与信息学报, 2004(4).
- [4] 代方震. 基于电极扫描原理的被动式静电探测技术研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2004.
- [5] 崔占忠, 宋世和, 徐立新. 近炸引信原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
- [6] 孙可平. 工业静电[M]. 北京: 中国石化出版社, 1994.
- [7] 林蔚. 静电成像探测极其信息处理[D]. 北京: 北京理工大学, 2007.
- [8] 王秉中. 计算电磁学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [9] Chen, X, Cui, Z, Bi, Z, et al. Research on low input impedance measuring system in electrostatic field measurement[J]. ISTMT/2003 5th International Symposium on Test and Measurement, 2003, 1:53-56.
- [10] 华成英, 童诗白. 模拟电子技术基础[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.

(上接第23页)

- ond-pulse Nd:glass laser system with high spatiotemporal beam quality[J]. High Power Laser Sci Eng, 2016, 4: e10.
- [17] Li S, Wang Y, Lu Z, et al. High-quality near-field beam

achieved in a high-power laser based on SLM adaptive beam-shaping system[J]. Opt Express, 2015, 23(2): 681-689.

(上接第48页)

3 结论

基于线结构光扫描法提出了一种RGB激光扫描方法,三基色激光合并成一束白光光源。相比于单个RGB分别扫描的方法,省去了依据三线间的距离进行计算再合成彩色的步骤。同时三束光合成后,光束能量增大、扫描速度快、效率高,可以实时获取并重建三维信息,颜色再现真实准确。

参考文献

- [1] Evans C, Doshir. Tale of two underwater lenses[J]. SPIE, 1991, 1537:203-214.
- [2] Jules S J. Underwater optical imaging: status and prospects, oceanography[J]. Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, 2001, 14(3): 64-75.
- [3] Raimondo S, Silvia C. Underwater image processing: state of the art of restoration and image enhancement methods[J]. Eurasip Journal on Advances in Signal Processing 2010: 746052.
- [4] Woods AJ, Penrose J D. The development of a compact

- underwater stereoscopic video camera[J]. SPIE, 1997, 3012:92-95.
- [5] 杨宇, 于佳, 王添, 等. 基于激光扫描的人脸三维重建方法[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(12).
- [6] 孙传东, 陈良益, 高立民, 等. 水的光学特性及其对水下成像的影响[J]. 应用光学, 2000, 21(4):39-46.
- [7] 张会霞, 朱文博. 三维激光扫描数据处理理论及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 26.
- [8] Davies E R. Computer & machine vision: theory, algorithms, practicalities[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013: 387-421.
- [9] Trimble G M. Area reconnaissance, object relocation, and classification using cooperating autonomous underwater vehicles[J]. SPIE, 1999, 3711:195-202.
- [10] 冀光强. 基于线结构光扫描的水下三维重建技术[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [11] Wang C C. Nonmetric camera calibration for underwater laser scanning system[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2007, 32(2): 383-399.
- [12] 杨宇, 阚凌雁, 于佳, 等. 水下环境的线结构光扫描和三维重建[J]. 光学学报, 2012, 32(s1):s111002.