

· 光学设计 ·

水下目标高精度彩色三维成像系统设计

张宗存,孔倩倩,杨宇,温亚楠

(青岛市光电工程技术研究院,山东 青岛 266019)

摘要:针对传统线结构光水下三维成像系统,无法同时兼顾水下颜色定标、高度定标,出现的目标色彩失真、三维高度采集精度低的问题,设计了一套集颜色定标、高度定标于一体的高精度水下目标彩色三维数据采集系统。采用视场融合原理使RGB激光形成一束长线列光源,实现目标彩色数据同步采集。颜色标定板、高度标定尺集成在定标模块,并通过伸缩支柱相连,可实现设备小型化;成像设备可在旋转电机控制下,实现 0° 、 90° 、 270° 三个方向数据采集, 180° 方向颜色、高度现场标定;具有实现容易、操作简单、同步定标、平台适应性强的优势,这将对高颜色保真度、高测量精度水下目标三维立体探测的发展具有重要推动作用。

关键词: 水下目标;高精度;彩色;三维成像;系统设计

中图分类号: TN942.2; TB853.18

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-02-0009-04

Design of High Precision Color 3D Imaging System for Underwater Target

ZHANG Zong-cun, KONG Qian-qian, YANG Yu, WEN Ya-nan

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

Abstract: The traditional line structured light underwater three-dimensional (3D) imaging system cannot consider underwater color calibration and height calibration at the same time, so the color distortion and low precision are the big problems to underwater target. A high precision color 3D data acquisition system for underwater target is designed, which integrates color calibration and height calibration. Red green blue (RGB) laser form a long line light source to realize the synchronous acquisition of target color data by field of view (FOV) fusion. The color calibration board and the height calibrating ruler are integrated in the calibration module, and are connected through a telescopic prop to make the equipment miniaturized. Under the control of the rotating motor, the imaging equipment can achieve 0° , 90° , 270° direction data acquisition and 180° direction color and height calibration. The system has the advantages of easy implementation, simple operation, synchronous calibration and good platform adaptability, which play an important role in the development of high color fidelity and high precision underwater targets 3D stereoscopic detection.

Key words: underwater target; high precision; color; three-dimensional (3D) imaging; system design

水下光学成像具有探测目标直观、成像分辨率高、信息含量高等优点,已经被广泛的应用于水中目标侦察、探测、识别、水下考古、海底资源勘探、生物研究、水下工程作业、水下环境监测、救生打捞等领域^[1-2]。

近年来,随着海洋资源开发步伐的加快,传统二维单色成像技术已远远不能满足于高精度、精细化成像探测的需求,三维立体彩色探测技术应运而生,并逐渐成为海洋探测的研究热点^[3-4]。

水下三维立体成像探测时,受水的散射折射、

收稿日期 2018-03-13

基金项目 国家自然科学基金资助项目(61505218)

作者简介 张宗存(1987-)男,博士,工程师,主要从事光学系统、成像探测系统设计研制工作。

吸收衰减、成像距离和照射条件等因素影响,容易造成探测目标图像发生颜色信息失真、三维高度失真、图像模糊、对比度降低等问题,直接降低了水下目标探测的精度^[5]。最佳解决方案是进行实景现场颜色定标和目标高度定标^[6-7],而现阶段水下三维立体成像信息采集系统,无法兼顾颜色自定标和高度自定标功能。文中设计了一套集颜色定标、高度定标于一体的高精度水下目标彩色三维数据采集系统,该系统具有容易实现、操作简单、同步定标、平台适应性强的优势,对推动高颜色保真度、高测量精度水下目标的三维成像的发展,具有重要的实际应用价值。

1 基本原理

1.1 水下颜色标定原理

颜色信息可以更加鲜明的展现出物体的形貌特征。因此,进行水下目标成像探测时,尽可能的保证物体本来的色彩信息显得至关重要。考虑到目标颜色信息容易受照明光源的颜色、照度、水的折射散射、CCD响应等因素的影响,造成目标信息的误判。因此,对应用环境进行现场颜色标定,是水下成像探测的重要环节。

颜色标定时,为保证标定精度,应确保照明及相机采集位置、状态与目标数据采集时尽可能相同;为保证标定信噪比,采用视场融合原理将RGB三基色激光整合成一条线视场照明光源,分别依次扫描通过24色标准色板,并用相机数据采集,记录下相应标准色板的探测器响应值 (r_i, g_i, b_i) ($i=1, 2, 3 \dots 23, 24$),并与24个标准颜色的标准值 (R_i, G_i, B_i) 结合,分别列为24组坐标点 (R_i, r_i) (G_i, g_i)和 (B_i, b_i) ,利用作图软件分别拟合出三种色光标准色光值与实测色光值的关系曲线,并进行公式拟合如下^[8]

$$\begin{aligned} R_i &= A_r r_i^3 + B_r r_i^2 + C_r r_i + D_r \\ G_i &= A_g g_i^3 + B_g g_i^2 + C_g g_i + D_g \\ B_i &= A_b b_i^3 + B_b b_i^2 + C_b b_i + D_b \end{aligned} \quad (1)$$

对上式进行求解,可得到采用RGB三基色激光光源照明,并经水介质、成像系统以及CCD探测器作用后,目标颜色的校正系数 (A_r, B_r, C_r, D_r) 、 (A_g, B_g, C_g, D_g) 和 (A_b, B_b, C_b, D_b) 。当忽略颜色种类数 i 的限制时,上式可转化为通用颜色标定关系式。

由标定关系式可知:当利用水下相机分别获取

目标的三基色图像后,即可获得对应的三组图像响应分布数据矩阵 (r_N, g_N, b_N) ,其中 N 为探测器像元数;将该响应分布数据矩阵,分别代入校正公式,便可求得经标准颜色板校准过的分布数据矩阵 (R_N, G_N, B_N) ,将三个分布数据进行图像还原,并进行三通道融合,便可获得水下目标的真实色彩。

1.2 水下高度标定原理

三维立体成像的关键是如何获取水下目标的高度图像数据。线结构光扫描成像为其实现提供了一种技术成熟度高、数据采集精度高的途径,但要获取高精度水下目标三维图,还需要对水下目标高度进行水下标定。

水下目标高度标定的原理需结合线结构光扫描法^[9-10]进行理解,图1为基于线结构光扫描的高度标定示意图。

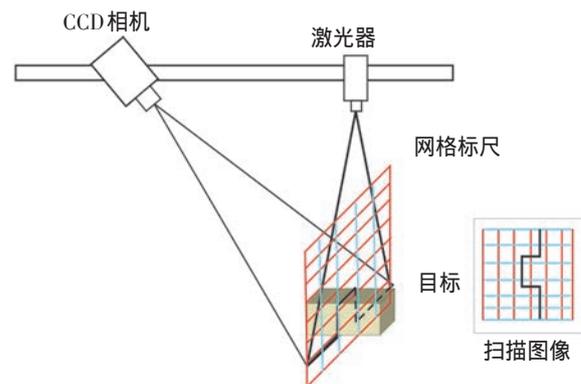


图1 水下目标高度标定示意图

激光光源被扩束整形为线视场光,并垂直于扫描方向进行照明,成像相机倾斜放置,可实现斜视成像。

由右图扫描图像可以看出,物体高度信息通过占用不同CCD像元位置展现出来,但这种高度量化需要通过定标尺来标定。网格标尺的位置与激光扩束面重合,且在外部光源的配合下,成像在CCD探测器上,则标准网格标尺各个标度点将被记录于对应的像素上,即CCD探测器每个像元上记录了标尺的实际高度。

将像元位置及对应的实际高度记录成标定坐标矩阵点 (x, y, h) ,然后将标定坐标矩阵点分别与目标CCD的成像数据点进行对应,来还原单帧目标图像的实际空间高度,依次类推,将待测目标的多帧图像数据,通过标定数据进行高度还原,最后通过

图像拼接,可得到水下目标的真实三维高度图像,进而实现高精度水下目标三维立体成像。

2 水下目标三维成像系统设计

2.1 水下目标三维成像系统设计指标

为获取水下目标高精度三维立体图像数据,还原目标真实色彩,课题组根据项目需求,对水下目标三维成像设备进行了预研,主要针对水下目标进行三维真彩色探测,仪器探测距离1 m,成像视场角为60°,采用红绿蓝三基色激光作为水下目标真彩色还原的主动探测光源,此外,设计充分考虑不同水下环境的应用需求,自身携带颜色自定标和三维高度自定标模块,具体设计指标如表1所示。

表1 水下目标三维成像仪设计指标

项目	指标
应用环境	水下目标
成像方式	主动探测
成像视场	60°
成像距离	1 m
分辨率	优于1.5 mm@1 m
照明光源	R 650 nm G 532 nm B 405 nm
自定标	颜色自定标 高度自定标

2.2 水下目标三维成像系统设计结果

水下目标三维成像系统仪设计结果如图2所示。

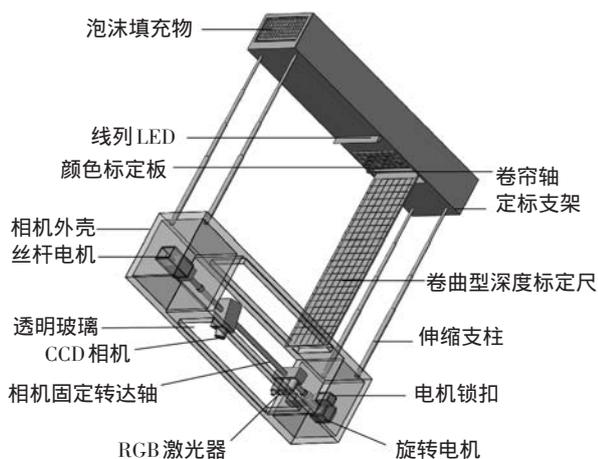


图2 水下三维成像仪模块装图

整个系统主要由成像模块和定标模块组成。其中成像模块主要包括相机外壳、透明玻璃窗口、丝杆电机、CCD相机、RGB三色激光器、相机固定转轴、旋转电机和电控锁扣;定标模块主要由可自由伸缩支柱、可卷曲型深度标定尺、卷帘轴、定标支架、颜色标定板、线列LED光源和泡沫填充物组成。

相机外壳及透明玻璃窗口,采用密封结构以保证仪器水下应用时,内部各个光电成像模块正常稳定工作;定标支架内部填充有泡沫填充物,下表面分布有标准颜色定标板、线列LED光源及卷帘轴,并通过可伸缩支柱、卷曲型深度标定尺与成像模块相连。

水下应用时,仪器浸入水中,并在到达待测目标成像距离的过程中,受浮力与重力的共同作用,实现定标模块与成像模块自动分离,并带动卷曲型深度标定尺展开,为水下定标做好准备;到达预定成像距离时,接通电源。首先,打开电控锁扣、启动旋转电机,实现成像相机及照明光源整体旋转180°,然后,利用电控锁扣锁紧相机固定转轴。此时,成像系统指向定标模块,可完成实景环境进行现场颜色标定和三维高度标定数据采集,仪器定标状态示意图如图3所示。

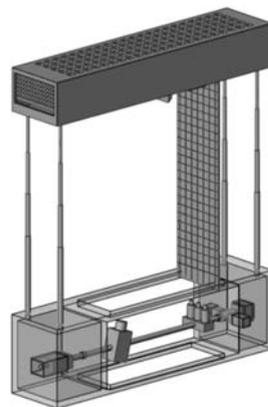


图3 仪器定标状态示意图

开启CCD相机、RGB激光器及丝杆电机,在丝杆电机的带动下,分别完成对24个标准颜色的红绿蓝三色光源响应图像数据采集;其中RGB激光器被整形为线列激光器并采用视场融合方式融合为一束垂直于扫描方向的线光源,RGB激光器分布及光源融合示意图如图4所示。

关闭RGB三色激光器,开启线列LED光源,照亮深度标定尺,并利用CCD相机采集水下环境高度

标定尺成像数据,此时完成了高度定标数据的采集。

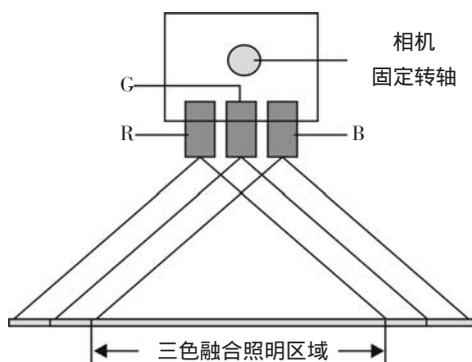


图4 三色光源分布及视场融合示意图

水下目标成像时,利用旋转电机实现相机固定转轴 180° 转动,完成成像仪器指向翻转,如图2,进行目标图像采集。为实现三色激光光源颜色标定,需要依次获取目标的三色图像数据,因此,激光光源为程控调制出光光源,每一扫描位置,可获取三个波段的图像数据。由仪器 1 m 处成像分辨率为 1.5 mm ,当目标扫描成像速度为 15 mm/s 时,可计算出CCD相机的成像帧频为 30 Hz ,采用传统商业相机即可实现,从一定程度上可降低研制成本,此外,成像仪器可在旋转电机的控制下,可实现 0° 、 90° 、 270° 旋转,即可实现多方向目标灵活探测。地面收纳时,通过压缩伸缩支柱,转动卷帘轴实现仪器体积大幅缩小,具有小型化、便携式携带储存的优势。

3 结论

基于线结构光三维成像、定标原理,设计了一套集颜色定标、高度定标于一体的水下目标彩色三

维数据采集系统,解决了现阶段水下三维成像系统无法兼顾颜色和三维高度现场定标,导致水下目标探测时,容易出现目标色彩失真、高度失真,造成目标探测精度低的问题。该系统具有容易实现、小型化、便携式、灵活性高、低成本的优势,可以为水下目标三维重建提供高精度量化测量数据,对推动水下目标探测向真彩色、高精度三维监测发展具有重要应用价值。

参考文献

- [1] 宋波. 水下目标识别技术的发展分析[J]. 舰船电子工程, 2014, 34(4):168-173.
- [2] 李宝. 水下激光成像及其图像处理技术研究[D]. 西安: 电子科技大学, 2015.
- [3] 杨宇. 水下多通道真彩色三维重建与颜色还原方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [4] Chris Beall, Brian J Lawrence, Viorela Ila. IEEE/RSJ International conference on intelligent robots & systems[J]. IEEE, 2010.
- [5] 张辉. 水下光学特性对水下光学成像质量影响的分析[J]. 科技论坛, 2013, 20:261-262.
- [6] 阚凌雁. 关于水下图像颜色补偿校正的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- [7] 李绪勇. 水下摄像机的建模与标定技术研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [8] 董会, 孔倩倩, 温亚楠, 等. 水下目标彩色三维重建方法研究[J]. 光电技术应用, 2017, 32(3):46-48.
- [9] Kocak D M, Frank Michael Caimi, Das P S, et al. A 3-D laser line scanner for outcrop scale studies of seafloor features[J]. IEEE, 1999, 3: 1105-1114.
- [10] 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):91-94.

《光电技术应用》期刊收录情况介绍

《光电技术应用》期刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊。期刊的影响因子连续几年上升,2015年、2016年、2017年连续3年入选《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊。

已与万方数据库签订合同,可以及时同步查询论文内容。