

光三维测量中影响光条中心提取的因素及对策

Several factors that affect detecting laser strip center and methods accordingly in three-dimensional measurement using structured laser light

(天津科技大学)任福元 许增朴 于德敏 王永强

REN FUYUAN XU ZENGPU YU DEMIN WANG YONGQIANG

摘要:线激光三维测量中光条中心提取的精度对测量结果影响较大。本文主要介绍了影响光条中心提取的若干因素,着重阐述光条的物理特性和被测物本身特性对中心提取的影响并提出改进方法。

关键词:线激光;三维测量;光条中心;高斯分布;景深

中图分类号:TN247

文献标识码:A

Abstract:The quality of laser strip is a key factor which determines the results of measurement in three-dimensional measurement using structured laser light. The paper mainly introduced several factors that affect detecting laser strip center, especially the physical characteristic of laser beam and the object to be measured and brought out some methods accordingly.

Key words:Line laser, three-dimensional measurement, laser strip center, Gaussian distribution, Depth of field

基于机器视觉的结构光三维测量原理如图1所示。从某一视点看,垂直投射到物体表面的激光条由于物体表面轮廓的起伏而变形(光条ab),该光条在CCD中所成的像为a'b'。图1所示为物像平面的透视变换模型,图中CCD摄像机的轴线与激光平面的法线方向成一定角度(>0)。

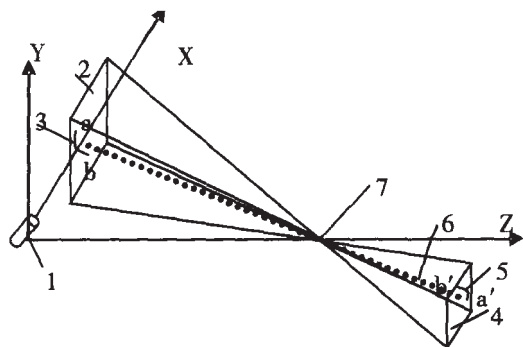


图1 激光三维测量原理图

1、激光器 2、激光平面 3、表面激光条 4、像平面 5、光条图像
6、摄像机轴线 7、透视中心

通过测量前对系统进行标定得出该激光平面内各点与像平面内各像素点坐标的对应关系,即标定矩阵。根据a'b'上各点在像平面内的坐标,利用标定矩阵就可反求出ab变形光条上各点的实际坐标,由此得到三维空间物体表面的轮廓坐标,实现三维测量。

1 提取光条中心的必要性与依据

采用激光作为测量介质,通过CCD获取光条图

任福元:硕士研究生

项目基金号:天津市科技发展计划项目(013108411)

像。由于摄像机像平面的最小单位是像素,所以必须将具有一定宽度的光条细化为单像素宽度的光条才能准确获取特征点的像平面坐标。

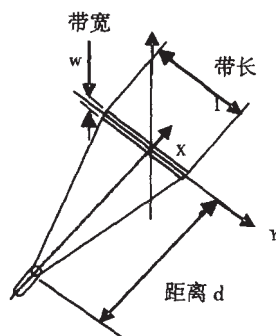


图2 光刀模式

图2为带状激光几何模型。激光光源发出的光经柱透镜和球面镜折射和聚焦后。在一维方向上(Y轴)扩散,另一维方向上(Z轴)会聚。在工作距离d处聚焦成具有一定宽度w的窄细光条。沿Z轴方向上光强服从高斯分布。带宽为光强降至中心强度的 $1/e^2$ (约14%)时光条的宽度。

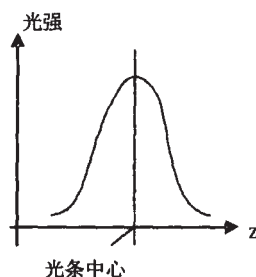


图3 光带能量分布

从图3可以看出,唯有光条中心的亮度最大,所以通常将亮度值最大的点视为光条中心点。光条细化就是在光条宽度方向上依据该理论进行的。

2 影响光条中心提取的因素

虽然提取光条中心是依据激光条亮度高斯分布这一特性完成的,但由于测量条件和环境的不同,诸多因素使光条的形状和亮度发生变化,进而对光条中心的确定产生一定的影响,如:

- 1、光条宽度和亮度随测量距离改变而发生的变化;
- 2、被测物表面(形状、颜色)及材质特征对图像的影响;

- 3、适当的镜头景深能确保光条清晰,减少误差;

由于光条中心确定不准确将直接影响所测量的精度,因此研究光条中心确定问题是重要的。

2.1 激光光条宽度及亮度在测量深度方向上的变化对中心提取精度的影响及对策

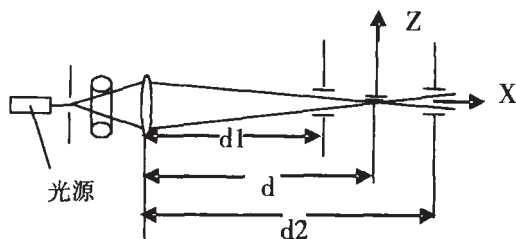


图4 光刀形成机理

图4所示是激光光条形成机理示意图,从光源发出的光经激光器系统的柱镜后先在Y方向(垂直于纸面)形成一字形光条(即光平面),同时在Z方向对光进行汇聚使得光条宽度变窄,在距离d处形成最细光条。所以在利用激光条进行三维测量时,光条的宽度(即光平面与物体表面相交时光条的宽度)随着拍摄距离的逐渐增大呈大-小-大的变化规律。

作为一种光信号,激光由于行进途中受到周围空气中各种颗粒的散射作用会消耗一部分能量,随着距离的增大光的能量损失也就越大,所以尽管激光具有高亮度的特点,其亮度依然会逐渐减小。

在对光条图像进行处理时,如果投射到物体表面的光条过宽就会增加搜索光条中心的不确定性,给测量带来误差;但很细的光条若遇到表面有较大颗粒的被测物时又容易使光条图像产生断点。

对于光条的亮度而言,以能在摄像机中清楚表现被测物轮廓特征为最佳。很亮的光条(如距离光源很近的光条)会同时出现若干个最大的灰度点,这就给中心点的判定(以最大值为中心点)带来了误差;如果光条亮度太低,摄像机拍到的光条图像就可能会因为被测物表面稍微的不平坦而出现断点。

所以对于不同的被测物,应依据光条自身的变化规律确定相应的策略。在保证成像清晰的前提下通过适当调整投射距离和激光器功率来调节投射到物体

上的光条宽度和亮度。

2.2 被测物本身特征(形状、颜色、纹理及材质)的影响及对策

被测物是整个测量环节中最具不确定性的部分,同是也是影响光条中心提取极为重要的因素,其形状变化、颜色、纹理及材料的透明程度等都会影响CCD拍到的图像效果进而影响到光条中心提取的正确性。

2.2.1 被测物形状变化对光条中心提取的影响及对策

第一种情况

排除光线被物体表面不均匀反射和由于物体材质的透光性引起的部分光线进入物体内部发生散射的情况,在激光平面与被测物表面恰好垂直时,光条的形状应该呈高斯分布,此时只要找出灰度值最大的点即为光条中心点。但多数情况下激光平面与被测物表面并不垂直。

图5所示为激光与被测物表面的相对位置关系,当物体表面(或表面的切面)为时,激光平面与被测物表面恰好垂直,光条中心最易获得;当物体表面为时(即与偏离一定角度)显然光条会变宽;且随着偏转角的逐渐变大其宽度会越来越大直至物体表面与激光带张角的上边界平行时(),激光宽度趋于无穷大。

以上三种情况,显然第一种情况的光条中心最易获取(求取灰度最大点或光条形状的几何中心),随着偏角的逐渐增大,光带在物体表面的光强分布将不再服从高斯分布而呈现出图6所示的分布。

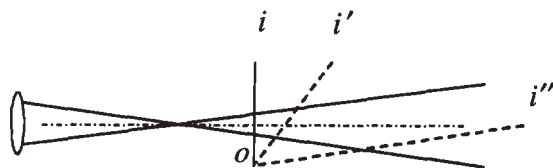


图5 物体表面与激光面相对位置

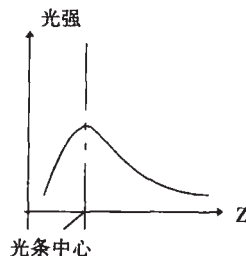


图6

对于物体表面或表面的切面为图5中情况则只能采取取最大灰度点作为光条中心的策略来进行光条细化;对于或接近于的情况,基本上已无法用中心亮度提取法获取光条中心,需要调节激光投射方向或采用其他辅助方法加以调整。

第二种情况

物体的外表面特征分为外凸和内凹两种。相对激光光条而言,外凸的表面能被激光完全照到,也能将其表面特征完全显现出来从而被CCD采集;然而对

于内凹的表面,在激光器与 CCD 的相对位置保持不变的情况下,有时会出现遮挡现象,即射到被测物体上内凹表面的光条在 CCD 上不能采集到。此时若采用图 7 所示的双 CCD 补测方法则可以很大程度减少因遮挡造成的光条断点问题:对于图示部位的光条,上方的 CCD 是无法采集到的。采用下方 CCD 采集上方 CCD 拍摄中被遮挡的部分进而转化到上方 CCD 中进行处理即可。实践证明这是一种有效减少遮挡断点的方法。

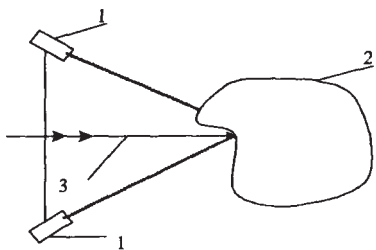


图7 遮挡问题

2.2.2 被测物表面颜色对光条中心提取的影响及对策

光条的明暗程度有时也会影响到光条图像的质量。比如过暗的光条因物体表面的小颗粒影响会在图像上产生断点,过亮的光条又会使大部分光条宽度区域内的灰度值均为最大值从而增加确定中心的难度,因此在物体表面形成合适的光条亮度也是十分重要的。除了杂质光和激光器功率以及投射距离等因素外,另一个不容忽视的部分就是激光颜色与物体表面颜色之间相互作用的影响。

根据色彩与色度学理论,红、绿、蓝三种基色光以不同比例混合时,基本上可以产生自然界中全部的色彩。混合两种或三种原色光得到的混合色光,其亮度均高于原有色光的亮度。例如,黄色光(红光+绿光)的亮度高于红光和绿光;白光(红光+绿光+蓝光)的亮度高于各种原色光;因此根据补色原理有:

红光+青光=白光

绿光+品红光=白光

蓝光+黄光=白光

在实际测量中应根据被测物的表面颜色选用合适的激光。

2.2.3 被测物材质的反光性与透光性对光条中心提取的影响及对策

人们能看到物体并能分辨出物体的颜色说明材料均具有一定的反光性。

在激光测量中,当用激光照射到较光滑的金属表面如铝、不锈钢或光洁的陶瓷的曲面上时,在待测表面斜率变化较大的地方会发生比较强的反射,这时几乎是拍不到光条图像的;相反如果物体表面具有一定的粗糙度,即使光条图像因被测物表面的变化而发生了一些变化(突起或凹陷),它仍能反映被测物实际的形状特征。除此以外,对于有较强的反光性的材质表

面,物体局部形状的变化也会将射向它们的激光反射到其他部位,使得拍摄到图像上的光条变形并不是实际的物体表面特征。这也会给测量带来大的误差。

另一个与被测物材质相关的因素是材质的透光性。橡胶制品、玻璃制品等由于均具有一定的透光性,如果直接将激光投射到这些物体上,光线会在这些物体的内部发生散射,这样原本很细的激光条射到这些物体上时会把光条周围全部“照亮”。在图像上形成很宽的“光带”,光条中心的提取几乎不能进行。

针对材料反光与透光性带来的问题,采取的措施就是减少表面的反光并阻断表面的透光。比较常见的方法是表面喷涂亚光漆或覆盖致密的亚光膜。

2.3 CCD 光学镜头景深的影响及对策

景深是透镜成像的一种光学现象,它是指被摄景物中能够产生较为清晰影像的最近点和最远点的距离。如图 8 所示,对于不在 a 点处物平面上的物点来说,在聚焦面 a 处所成的像是一个光斑,即具有一定面积的弥散圆。当弥散圆大到一定程度(容许弥散圆)以后,人眼将不能分辨各点的像。这个临界弥散圆就称为容许弥散圆。b 点和 c 点分别是在聚焦面上成容许弥散圆的临界物点,它们之间的距离即为景深。

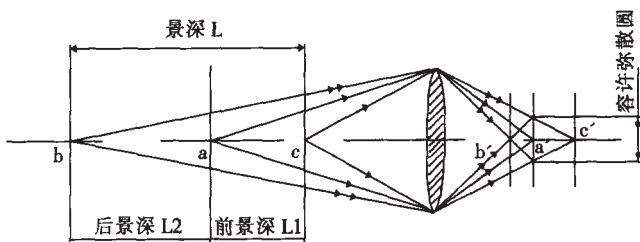


图8 景深示意图

在激光结构光法三维测量中,由于视场角的限制,摄像机拍摄的场景是有限的。同时,为了在有限的视场内得到清晰的图像,应该保证目标光条位于景深范围之内。所以在设计结构光测量系统时,应充分考虑影响景深的要素,合理设计,以获取清晰的光条图像。

计算景深的公式:
$$L = \frac{2\delta F f'^2 S(S+f')}{f'^4 - \delta^2 F^2 (S+f')^2}$$

式中 f' 为镜头焦距; F 为光圈系数; δ 为容许弥散圆直径; S 为物距。显然从公式中可以看出,容许弥散圆的直径越大,则景深也越大。

虽然景深的定义源自人眼对拍到的图像清晰度的认可程度上,但如果换作用于测量的 CCD 器件,就应结合测量系统的精度要求来确定容许弥散圆的直径,进而获取合适的景深范围,确保测量具有较高的像素分辨力。

2.4 获得理想的光条特征应采用合适的算法

除了上述几部分着重阐述的硬件及客观条件对光条中心提取的影响外,中心提取的算法也是近年来机器视觉领域较为热门的研究内容,常见的中心提取算法除了本文中介绍的灰度极值法外(下转第 279 页)

具调节的时候,发射功率随着调节的工具的移开而减小。克服这个困难的方法是调节电容使发射功率通过峰值并记录峰值位置,然后继续调整电容,使输出功率达到峰值的另外一侧,然后移走调试工具,观察输出功率的变化情况。如果输出功率变小,则调整电容,使输出功率达到峰值的另外一侧,然后移走调试工具。反复试验,最终得到最大值。调试结果如图6所示。

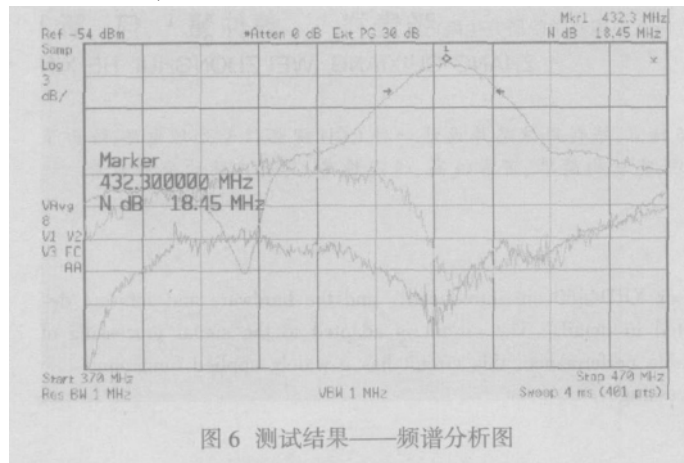


图6 测试结果——频谱分析图

6 结束语

本文的创新在于基于 MICROCHIP 公司生产的 rfPIC12F675 芯片,提出了一种微小型天线设计技术和调试技术。系统实现了无线发射数据的同时具有一下优点:

- 1.由于天线体积减小,使整个系统的体积减小,可以减小无线通信产品的体积,也可以使其外表美观。
- 2.该天线调试技术可以使整个系统的发射效率达到最大,从而最大限度地节约能量。
- 3.该天线设计方法简单,成本很低,因此有很大的实用价值。

实际应用表明,该天线有成本低,效率高,穿透性好和体积小的等显著特点。

参考文献:

- [1]刘建新,谭平.基于 PIC18F458 的车载 CAN 总线仪表系统[J].微计算机信息 2006,2- 2:222
 - [2]K.Fujimoto,A.Henderson,K.Hirasawa,and J.R.James,"Small Antennas".Research Studies Press Ltd.John Wiley & Sons,1987
 - [3]Faron Dacus, "Introducing Loop Antennas for Short Range Radios,Part5"(Microwave & RF [July 2002]80- 88)
 - [4]Frederick W. Grover, Introduce Calculations Working Formulas and Tables Dover Publications Inc. 1946
 - [5]王朴中,石长生著.天线原理,清华大学出版社.北京.1993.8
 - [6]刘笃仁.PIC 软硬件系统设计,电子工业出版社.北京.2005
- 作者简介:陈有辉(1976-)男,江西崇仁县人,在读研究生,主要研究方向:汽车电子.E-mail:pumeisc@sia.cn;于冬清(1966-)男,辽宁人,研究员,硕士生导师,主要研究方向:汽车电子。

(110016 中国科学院沈阳自动化研究所)陈有辉

(100049 中国科学院研究生院)于冬清

(Shenyang Institute of Automation,Chinese Academic of Science110016)Chen Youhui

(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences100049) Yu Dongqing

通讯地址:(110016 沈阳市南塔街 114 号沈阳自动化研究所第三研究室)陈有辉

(收稿日期:2006.2.16)(修稿日期:2006.3.14)

(上接第 261 页)

还可以采用各种算法检测光条边缘,然后再求其几何中心或图像骨架细化算法、高斯拟合法、方向模板法等。另外还可以通过人为指定处理区域,即避开图像上的由于环境光或其他原因形成的非特征亮点进行的区域极值法,实践证明取得了较好的效果。

3 结论

本文介绍了激光三维测量的原理,提出了激光光条质量的优劣是决定测量结果的关键因素,重点从激光条自身和被测物两个角度对影响光条中心提取的因素进行了分析并提出了改进意见,同时提出为保证精度需要考虑镜头景深的影响。最后指出采用的算法也会影响到测量结果。充分考虑这些因素的影响能更好的指导我们创造优良的实验环境,针对不同拍摄对象和环境采取不同的处理办法,取得满意的效果。

本文作者创新点:从激光光条本身特性、被测物的物理特性以及测量系统镜头景深三个方面对光条中心提取的影响加以阐述。充分考虑这些因素,能取得比单纯改进提取算法更为令人满意的效果。

参考文献:

- [1]许增朴、于德敏.光—象平面自动标定法的研究[J].天津轻工业学院学报,1993 增刊.
- [2]金国藩、李景镇.激光测量学[M].北京 科学出版社,1998.7
- [3]胡成发.印刷色彩与色度学 [M].北京:印刷工业出版社,1993.2
- [4]蓝海江.景深及影响景深的因素[J].柳州师专学报 2001.9 67-69
- [5]吴炯,张秀彬等.数字图像中边缘算法的实验研究[J].微计算机信息 2004.5:106-107
- [6]赵圣魁.多角度三维扫描测量系统的研究[硕士学位论文],天津科技大学 2005
- [7]杜小平、周兴汉等.光栅形结构光检测系统中确定光条中心的算法研究[J].指挥技术学院学报 2002.12 52-54.

作者简介:任福元(1977-),男,汉族,河南辉县人,硕士研究生。许增朴(1952-),男,汉族,河北安国人,教授,博士生导师,研究方向:机器视觉检测技术。

(300222 天津市天津科技大学机械工程学院)任福元

许增朴 于德敏 王永强

(College of Mechanical Engineering,Tianjin University of Science and Technology,Tianjin 300222,China)Ren Fuyuan Xu Zengpu Yu Demin Wang Yongqiang

通讯地址:(天津市天津科技大学机械工程学院)任福元

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net (收稿日期:2006.2.21)(修稿日期:2006.3.18)