

VIC-EDU

DIC实验力学教学系统

correlated
SOLUTIONS

The **NEW** VIC-3D Educational System

全新发布的 VIC-3D 教育版系统

现在即可通过小巧、可靠、经济的教育版系统开启 DIC 教学课程了！

Compact. Robust. Affordable.



系统概述 System Overview

VIC-3D 教育 (EDU) 系统是为学术机构开发的低成本 Digital Image Correlation 应用解决方案，旨在帮助本科生和研究生学习与应用数字图像相关技术。VIC-3D EDU 系统采用功能强大的 VIC-3D 软件中的精确 DIC 算法，同时允许用户快速、轻松地采集数据。该系统具有精简的硬件结构及完善的图像采集和后处理功能。3D 图像采集器安装在保护外壳内，其中包括集成的 LED 光源、冷却风扇和外部 USB 和电源连接器。该系统还包括三脚架、云台、散斑制作工具、标定板和方便的手提箱。

该产品是工程课程的完美应用，如固体力学，测量，结构，汽车设计，航空航天，安全，FEA 验证等等。此外，VIC-3D EDU 软件能够处理从任何 VIC-3D EDU 系统获取的图像，这使得用户不仅可以在校园内共享图像，还可以与其他大学的同事共享图像。该系统只需要一台带有一个可用 USB3 端口和一个可用电源的计算机。该系统适用于学生应用新的测量技术与验证 FEA 模型。

系统参数 Specifications:

相机分辨率	1920 x 1200 (2.3 Megapixels)
采集帧率	20Hz live, .5Hz acquisition, 100 frames per capture
曝光时间	19 μ s – 1s
视场	固定视场 Fixed: 150 x 200mm
位移分辨率	面内 In-plane: +/-2 μ m; 离面 Out-of-plane: +/-4 μ m
应变分辨率	50 μ ϵ
应变测量范围	0.005% to >2000%
教育版授权	无限制
软件功能	3D 位移、应变测量，数据图像化工具(曲线、云图)等

Laboratory 1

基础知识：使用VIC-EDU系统进行非接触表面测量

目录

I. 概述.	1
II. VIC-EDU 系统开箱	1
III. VIC-EDU系统的硬件搭建	2
IV. 初始化软件用于图像采集	3
V. VIC-EDU 系统标定	4
VI. 实验准备	5
VII. 实验图像采集.	5
VIII. 实验图像分析	5
IX. 实验结果的呈现	6
X. 参考文献	10



I. 概括

本实验的目的是为使用VIC-EDU系统获得试件表面变形的可靠测量提供必要的背景。本实验将从以下几个方面介绍使用VIC-EDU系统:

- 展示并介绍VIC-EDU系统中的组件
- 建立VIC-EDU系统以进行测量
- 利用软件采集组件VIC-Snap (EDU)对测试图像进行采集的过程
- 演示如何使用提供的标定板和VIC-Snap (EDU)用VIC-EDU系统拍摄标定图像
- 展示使用标定图像完成VIC-EDU系统的标定
- 制备样品, 然后制作高对比度散斑以进行精确的立体图像测量
- 讲解如何设置VIC-3D (EDU)来获取和存储机械加载过程中试样的图像
- 演示如何用VIC-3D (EDU)分析图像, 获得各种类型的数据, 包括表面位移和应变
- 演示如何使用VIC-3D (EDU)查看测量数据
- 演示如何使用VIC-3D (EDU)导出选定格式的测量数据。

在学习了VIC-EDU系统的这些方面之后, 您将使用该系统获得经过刚性旋转和位移的试样的测量结果。使用这些图像, 您将获得测量的位移和应变信息。

NOTE 在这些实验中, 我们以两种方式引用VIC-EDU系统。硬件(机箱、摄像头、线、校准靶)称为“VIC-EDU”软件(VIC-3D和VICSnap专门为该系统设计的特殊版本)称为“VIC-3D (EDU)” and “VIC-Snap (EDU)”。

II. VIC-EDU系统开箱

整个vic- edu测量系统是在一个带有振动保护的情况下运送给您。图1显示了保护箱到达时的内部外观。它包括:



图1:VIC-EDU防震保护箱内部

1. 立体视觉测量头, 包含两个用于立体成像的摄像头, 一盏照亮样品的光源, 以及为摄像头供电和输出数据所需的连接口
2. Benro三脚架, 标号为1的立体视觉测量系统安装在三脚架头上
3. 电源和将VIC-EDU系统连接到计算机所需的两根电缆
4. 用于安装VIC-3D (EDU)和VIC-Snap (EDU)软件的u盘
5. 与提供的散斑滚筒配合使用的黑色墨水, 用于涂抹黑色散斑
6. 散斑直径大小为0.026英寸的滚筒工具
7. 印台
8. 标定板, 对于固定焦距立体视觉测量头, 14mm的网点间距是标定系统的理想选择。

典型的VIC-EDU系统(图1中的项目1)安装在Benro三脚架上(图1中的项目2)。

所含电源(图1中的第3项)为VIC-EDU立体相机系统提供必要的电源。每台相机具有1 920垂直像素和1 200水平像素的成像分辨率。曝光时间可以在1 9 μ s到1 s之间变化。相机有固定的焦距,使系统有一个垂直2 00mm和水平1 50mm的聚焦视场。

制造商对VIC-EDU系统的研究表明,测量存在以下可变性;

- 面内位移精度 $\pm 2\mu\text{m}$
- 离面位移精度 $\pm 4\mu\text{m}$
- 面内应变精度 $\pm 50\mu\epsilon$

这些值本质上是测量值的界限,因此得到的值远高于这些界限也是准确的。

VIC-EDU系统的VIC-Snap (EDU)图像采集软件(图1中的第4项)允许用户获取实时图像。当在实验中获取图像时,该软件将允许用户以最快2秒的速度获取图像。对于每个实验,用户可以捕捉多达100张带标签的图像,专门用于VIC-3D (EDU)软件的分析。

为了确保您的图案具有合适的散斑大小,VIC-EDU系统包含了一瓶墨水、一个滚筒工具和一个墨垫(图1中的第5、6和7项)。墨垫可以使用提供的墨水进行填充。使用滚筒和墨垫可以将平均尺寸为0.125英寸的散斑图案滚涂到样品表面,以实现精确的图案匹配,从而实现精确的位移测量。



图2:vic-edu系统安装在Benro三脚架上

在进行实验之前,使用VIC-3D(EDU)软件和包含适当的网点大小和网点间距的标定板(图1中的第8项)对VIC-EDU测量系统进行标定。根据制造商的研究,标定板的网点间距为14mm。

VIC-EDU用户手册也包含在保护箱中(在线PDF文件链接在参考文献1中),但没有显示在图1中。用户在设置VIC-EDU系统和在设置VIC-EDU系统时请阅读整个手册。

NOTE

由于现有的实验室已经有各种各样的计算机可用,VIC-EDU系统不包括与VIC-EDU测量头连接的笔记本电脑。因此,在设置VIC-EDU系统时,您应该确定使用VIC-EDU系统的首选计算机。

III. VIC-EDU系统的硬件搭建

打开VIC-EDU测量系统保护箱后,要小心拆卸VIC-EDU测量头(图1中的第1项)。如图3所示,VIC-EDU测量头背面有两个端口。图3中右侧为USB 3.0 A型转B型线缆的接口。Type B端插入右侧插头,Type A端插入计算机的USB 3.0接口。最左端为电源线接口。VIC-EDU系统采用单电源供电(图1中的项目3)为照明和系统风扇供电。

由于VIC-EDU测量头中预先安装了所有光学组件，包括光源、相机、镜头和滤光片，一旦测量头连接到三脚架，两根电缆从测量头连接到电源插座和计算机，系统就可以进行成像和数据采集了。请参阅VIC-EDU用户手册，了解关于Benro三脚架测量头附件的详细信息。

为了获得聚焦的样本图像，制造商对固定焦距VIC-EDU系统的研究表明，VIC-EDU头部前部到样本表面的距离约为0.50米。



图3:VIC-EDU测量头后面板照片。矩形USB线用于摄像头。圆形电缆为电源连接

CAUTION

虽然VIC-EDU的测量头很坚固，但如果不慎掉落或撞击，内部光学元件可能会发生移位或损坏，需要将其送回CSI进行更换或维修。当本机不使用时，请小心处理，并将本机放回箱中。

IV. 初始化软件以进行图像采集

VIC-EDU测量头通电并连接到实验室计算机后，应将VIC-EDU测量头安装到Benro三脚架上，并安排在实验室中开始获取图像。

一旦定位到查看焦点中的对象，就可以获取和存储图像了。为此，请在您的计算机上安装VIC-3D(EDU)软件。软件安装完成后，打开计算机上安装的VIC-Snap(EDU)进行图像采集。由于VIC-EDU系统有预先指定的相机类型(对于大多数系统来说是Point Grey)，您应该看到系统中每个相机的两个实时图像。

在您的电脑上能够看到实时图像，有几个成像的注意事项，下面的小节将重点介绍这些注意事项。

IV.a. 双相机中心对中

为了获得试样上最大区域的测量数据，重要的是两个相机都要观察同一试样区域。一种方法是使用用户手册第3页和第4页的VIC-Snap (EDU)内部功能，这里有简单描述。

- 使用VIC-3D (EDU)十字准线在两幅图像中确定一个特定的点并定位其像素位置。
- 使用VIC-Snap (EDU)中的旋转功能移动样本，并通过手动平移样本、系统或两者，直到这一点在两幅图像中大约居中(像素(600,960))。
- 评估图像的清晰度，确保区域在两个相机中保持聚焦清楚。使用VIC-3D (EDU)中的FOCUS工具来实现最清晰的对焦。

IV.b. 优化光照, 不过度曝光或曝光不足

为了使用VIC-EDU系统获得准确的测量结果, 样品表面的图像不能过度曝光(太亮)或曝光不足(太暗)。通过控制曝光时间和透镜上偏振器的方向可以获得适当的曝光。这在用户手册的第3-5页进行了详细讨论, 您应该在查看实时图像时使用这些程序, 通过改变曝光时间和偏振器方向来优化光照。

NOTE 除了最大限度地扩大可获得测量结果的区域之外, 在两个相机中设置一个公共区域的中心还有另一个好处;减少可能影响测量的光学畸变。关于这个问题的更多讨论可以在各种出版物中找到, 包括[2]。

V. VIC-EDU 系统标定

使用VIC-EDU系统和VIC-3D (EDU)软件提供的标定板(图1中的第8项)。关于标定过程的详细信息见VIC-EDU用户手册第5-8页。简单地说, 运行的VIC-EDU系统被放置在合适的位置, 标定板放置在VIC-EDU系统前面约0.50米的位置, 以查看实时图像。

对中、对焦、优化曝光后, 得到标定板图像如图4所示。一旦获得高质量(例如, 高对比度, 聚焦良好)的图像, VIC-EDU系统的标定过程就开始了。标定过程中的要点如下:

- 绕三个垂直轴旋转标定板
 - 旋转时图案不散焦
- 一定要确保三个特殊的点在两个图像中都有
- 获取标定板在不同聚焦方向上的30-50幅图像。

获取所有标定图像后, 即可完成标定过程, 并按照VIC-EDU用户手册中描述的过程获取标定参数。必须强调的是, “Score”值必须在建议的范围内, 以确保使用系统进行可靠的测量。如果“Score”过高, 请参考用户手册7和8, 在重复标定过程之前纠正成像问题。

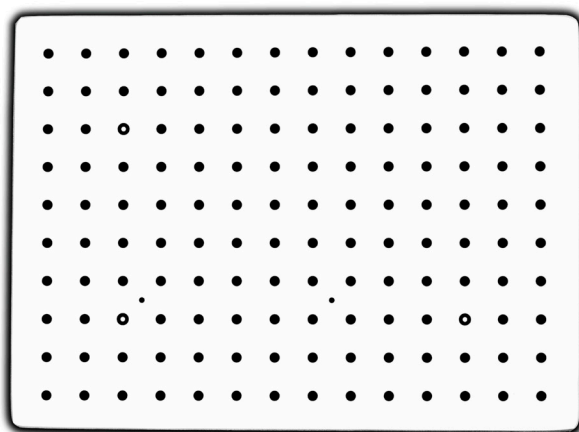


图4:用于标定立体视觉测量系统(如VIC-EDU)的典型标定目标的照片

VI. 实验前的准备

成功标定VIC-EDU系统后,就可以准备测试样品了。Correlated Solutions Inc.的应用说明AN-1701[3]详细描述了这个过程。简单总结如下:

- 用粗砂纸和细砂纸磨平表面,去除多余的附着物
- 使用CSM-2脱脂剂或类似的清洗剂去除任何残留的油和金属颗粒留下的表面砂。必要时重复此操作。
- 让表面干燥,然后在样品表面上涂漆。请勿在摆放相机的同一房间内对本进行油漆,因为这会降低光学成像元件的质量。通常,表面最初被涂成白色。
- 只使用足够的油漆覆盖表面和减少反射;不要在表面覆盖。
- 在油漆干燥后,使用提供的滚筒和墨垫涂抹一个随机的点图案,尺寸为0.026 " (0.635 mm)。它应该需要大约2-3个通道,以达到我们所期望的黑白比例的50/50。记住,不要涂抹图案,因为这样会降低测量的质量。
- 小心地画出不同的点。为了提高对比度,您可能需要用滚筒进行多次冲洗。不要试图对齐通道,只是应用模式在前一个上面,使用VIC- 3D (EDU)工具检查模式。

有关有效样品表面制备的其他详细信息,请参阅[3]。

VII. 实验图像采集

一旦标定完成,就需要获取样品的图像并存储它们。为此,在VIC-3D (EDU)中单击Edit Files并重命名图像前缀以指示正在存储测试图像。要开始存储这个名称的图像,您可以(a)手动使用空格键或VIC-3D (EDU)中的Capture图标,或者(b)使用Time Capture选项并设置图像获取之间的时间间隔。有关更多细节,请参阅用户手册第6页。

NOTE

在原则上,一个经过标定的VIC-EDU测量系统可以移动到一个新的位置而不影响标定。由于过度处理系统总是有可能影响内部组件,因此建议将系统放置在实验的最终位置,标定板放置在将要放置样品的位置的前面。通过这种方式,校准可以在不移动VIC-EDU系统的情况下进行。一旦标定完成,只需将标本放置到位并进行实验。

VIII. 实验图像分析

获取实验图像后,利用VIC-EDU软件对标定参数进行图像分析,提取变形测量值。该软件在如何执行分析方面具有难以置信的灵活性。在VIC-EDU用户手册的第9-19页描述了许多功能和选项。在使用散斑图像图标或通过项目文件菜单导入您的图像后,所有分析所需的关键参数如下:

- 感兴趣区域(ROI):选择样本上需要获取数据的区域。参见用户手册中的pgs 8-10。
- 子集大小选择:所有子集都是正方形的,因此在进行选择时需要一个单一像素维度。参见用户手册中的pgs 8-10。

- 步长选择:在ROI内分析的子集之间的每个方向上的像素距离。参见用户手册中的pgs 8-10。
- 初始猜测:在大多数情况下,软件不需要初始猜测。然而,如果由于加载引起的运动很大,那么VIC-EDU软件可能需要在开始分析之前进行初步猜测。这样做的过程在用户手册的pgs 9-11中有描述

有了这些信息, VIC-3D (EDU)图像分析软件可以使用**开始分析**图标启动。这将打开一个窗口, 提供额外的分析选项, 如用户手册中的pgs 10-13所述。请参阅用户手册中提供的讨论, 以作出选择。一旦选择了所有的分析选项, 分析就会通过Run按钮启动。分析完成后, 测量数据就可以进行后处理了。

后处理工具

在用户手册的14-19页给出了关于各种输出变量和如何显示结果的相当完整的讨论。在开始对数据进行详细处理之前, 您应该详细审查这一点。

IX. 实验结果的呈现

1. 用上述程序在平面标本上画散斑图案。完成之后, 使用VIC-EDU测量系统获得聚焦图像的标本
 - 拍一张VIC-EDU测量系统和样品的照片, 并在报告中显示。
 - 将VIC-EDU记录的标本的两张图片都拍下来, 并在报告中显示出来。
2. 光学成像中的一个重要参数是, 在继续获得聚焦良好的图像的同时, 你可以将标本移动到相机和离开相机的距离。被称为景深(DOF), 你将通过实验估计平面标本的景深。如图5所示。

- 将标本放置在距离测量头约0.5 m处
- 使试样大致平行于测量头的中心线
- 将尺子垂直于试样表面
- 使用实时成像
- 将标本移向测量头, 直到可以看到轻微模糊。
- 统治者的阅读记录, d_f
- 将样品从测量头移动到一个方向, 直到它变得聚焦, 然后稍微模糊。统治者的阅读记录, d_b
- $DOF = \pm \frac{d_f - d_b}{2}$
- 重复这个过程10次。
- 在表格中记录数据并包括在报告中。



图5:实验设置示意图

3. 假设水平长度为L的试样，绕靠近前表面中心的轴旋转一个角度 θ ，如右图所示。确定试件可以旋转的最大角度，使前表面上的所有点都在问题2中确定的自由度内。

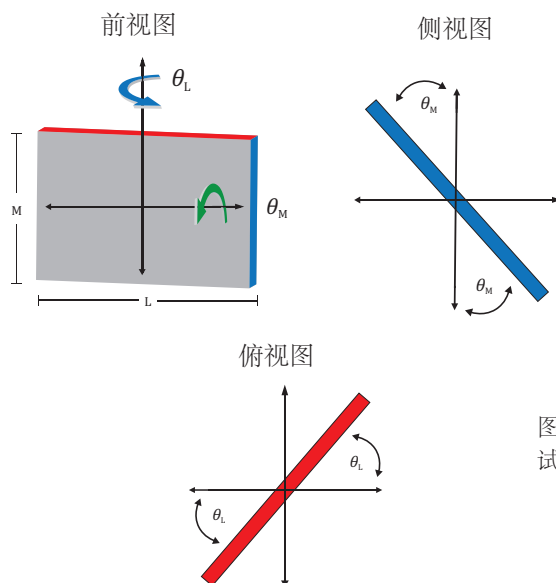


图6:显示步骤3中旋转 θ_L 和 θ_M 的试样示意图

- 确定目标对于 θ_L 和 θ_M 可以旋转的最大角度，其中L和M是VIC-EDU系统提供的标定板的实际尺寸。参见图6提供额外的指导。如果这些尺寸没有刻在标定板上，你应该测量L和M。你可能会考虑下面这样的方程。

$$\theta_L = \sin^{-1}\left(\frac{2 \text{ DOF}}{L}\right) \quad \theta_M = \sin^{-1}\left(\frac{2 \text{ DOF}}{M}\right)$$

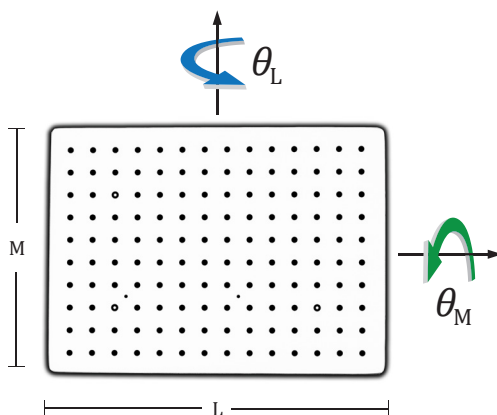


图7:标定板网格和旋转示意图

4. 使用提供的标定板，并对VIC-EDU系统进行完整的标定。一个典型的标定板如图7所示。在你的报告中包括以下内容。
- 标定图像数量
 - 标定图像其中之一
 - VIC-3D (EDU)软件报告的标定，包括两个类似于下面的截图，如果没有在报告中。右边的项目文件应该包含相机1和相机2的内部参数，以及转换。下面的图8和图9显示了示例供您使用。

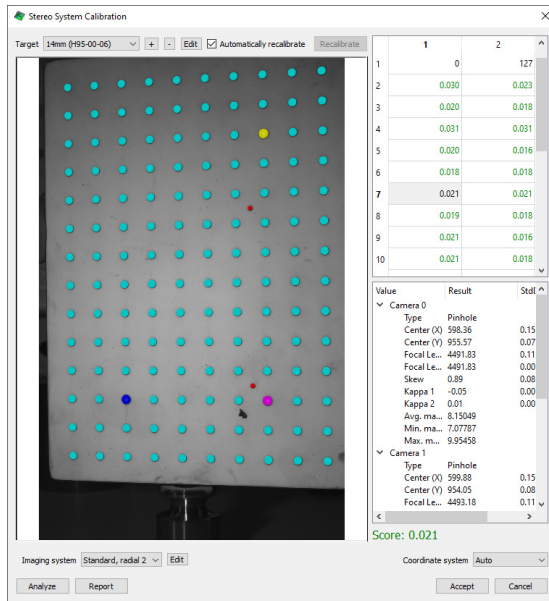


图8:标定对话框窗口

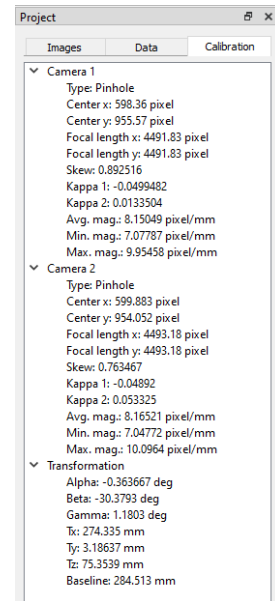


图9:项目工作区中的标定选项卡

5. 利用VIC-EDU系统，获得两对已定心、聚焦和适当曝光的样品的测试图像。两组图像都应在不移动标本的情况下拍摄。
在报告中包含一对测试图像。
 - 使用VIC-3D (EDU)软件对两幅图像进行分析，以获取并报告以图像为中心的500 x 500像素区域内的数据。填写下表以提供分析中使用的所有选项/参数的列表
 - ROI: ~500 x 500 pixels; Subset size; Step size
 - 在开始分析对话框中找到:子集权重;插值方法;相关标准
 - 在开始分析对话框中发现:一致性阈值;置信度阈值;匹配度阈值
 - 在开始分析对话框中发现:自动设定平面已启用;置信度计算与否;应变过滤器的尺寸和应变张量类型。

你需要报告的数据如下:

- 启用自动设定平面选项后，ROI的曲面形状($z(x, y)$)的2D全场图，其中 x 和 y 分别是试件上名义上的水平线和垂直线， z 与 x 和 y 线都正交
- RO的平面外位移场的二维全场图 $W(x, y)$
- 通过ROI中心的水平线，滤波大小为15的拉格朗日应变 e_{xx} 的提取图
 - 使用过滤器大小为5重新计算 e_{xx} 的应变(参见用户手册中的第14 - 19页)
 - 在相同的提取图上显示具有两个过滤结果的提取线
- Von Mises 冯·米塞斯应变的提取图，滤波器大小为15，用于通过ROI中心的垂直线。
 - 使用过滤器大小为5重新计算 e_{xx} 的应变(参见用户手册中的第14 - 19页)
 - 在相同的提取图上显示具有两个过滤结果的提取线

Lab 1 - Stereo DIC Image Analysis Parameters

感兴趣区域(ROI) (pixels x pixels)	
视野范围 (pixels x pixels)	
像素密度 (pixels/mm)	
子集大小 (pixels)	
步长 (pixels)	
使用的相关标准	
子集加权	
插值法	
一致性阈值 (pixels)	
置信区间 (pixels)	
匹配阈值 (pixels)	
应变张量类型	
应变过滤器尺寸(N x N pixels ²)	
应变过滤器类型	
自动设定平面	Yes or No

NOTES

X. 参考文献

1. VIC-EDU User's Manual, Correlated Solutions Incorporated, www.correlatedsolutions.com
2. MA Sutton, JJ Orteu, and HW Schreier, Image Correlation for Shape Motion and Deformation Measurements; Theory and Applications, Springer (2009) ISBN: 978-0-387-78746-6.
3. Application Note AN-1701: Speckle Pattern Fundamentals, <http://www.correlatedsolutions.com/support/index.php?Knowledgebase/Article/View/80/1/speckle-pattern-fundamentals>.

Laboratory 1

Instructor Notes

基础知识: 使用VIC-EDU系统进行非接触表面测量

Section I 提供了Laboratory 1中包含的材料的摘要，为使用VIC-EDU系统获得样本表面变形的可靠测量提供了背景，包括对VIC-EDU系统的各个方面的解释。

Section II 要求学生遍历VIC-EDU的所有硬件，熟悉每个组件构成，以及在实验过程中是如何使用的。他们应该花尽可能多的时间来熟悉这个系统。

CAUTION 请提醒学生，VIC-EDU的测量头必须小心处理，因为它包含所有关键的光学元件和连接。测量头的任何动态激励(跌落、过度震动、冲击)或过热条件(长时间置于阳光下、储存在冰箱中)都可能损坏内部元件并影响系统性能。

Sections II.a & II.b 讨论建立VIC-EDU系统(见右图)和获取样本聚焦图像的过程。学生应该正确设置系统，连接到计算机，并获得样本的聚焦图像。

注意，样本应该在距离VIC-EDU测量头前方约0.50米的地方才能聚焦。

当学生使用VIC-EDU系统进行初始成像时，应强调VIC-EDU测量头内部两个相机中标本图像的适当照明、聚焦和定心等问题。一旦学生有了设置系统和获取聚焦、光照良好的图像的一些背景知识，现在是时候校准系统了。

Section III 对学生来说是很重要的，他们应该多次练习对VIC-EDU系统进行标定，以确保他们能正确地完成。好的测量需要好的标定结果。



VIC-EDU系统安装在一个Benro三脚架上。

NOTE 纵观这些实验，我们以两种方式引用VIC-EDU系统。硬件(机箱、相机、线缆、标定板)称为“VIC-EDU”，软件(为该系统设计的VIC-3D和VIC-Snap的特殊版本)称为“VIC-3D (EDU)”和“VIC-Snap (EDU)”。

Laboratory 1

Instructor Notes

基础知识:使用VIC-EDU系统进行非接触表面测量

当在Section IV中绘制样本的散斑和在Section V中获取图像时，要求学生使用提供的滚轮以确保最佳的散斑大小。一般来说，学生必须在样本上滚动几次，以获得充分的散斑密度。请注意，这些散斑并不一定要对齐，因为黑色的区域会变得更深，而浅色的区域会变成灰色。一定要让学生们检查图像，看看对比度是不是太暗、太亮或过饱和度。

LAB EXTENSION

由于系统内部组件是固定的，学生可以直接比较输出参数，看看结果是否一致，观察到多少变化。例如，您可以要求学生不按照规定步骤，只使用一幅图像进行标定，然后添加更多的图像，看看参数和标定“分数”是如何变化的。通过这种方式，他们可以看到需要多少图像才能获得稳定、一致的参数值

在完成成功的标定后，切换拍摄散斑图像模式并获得样本的初始图像对，Section VI讨论了分析图像的所有不同选项。学生们最容易看到的分析是标本的形状。这是LABORATORY 1, Question 6中特别要求的，但如果你想让学生们尝试一些东西并想象他们所测量的东西，可以在这里先考虑一下。

虽然标本看起来是“平的”，但实际上它会有轻微的变化，可以在VIC-3D (EDU)图中看到。Section VII提供了一个简短的参考书目列表，您可以推荐给学生进行额外的学习。

LABORATORY QUESTION 1

标本的图形化是任何数字图像相关实验的一个重要方面。所提供的滚筒使得VIC-EDU系统能够制作正确大小散斑。教育者可能希望学生测量一个典型的黑散斑或白散斑区域的采样像素的数量。注意，先前的研究表明，在传感器平面上对黑色或白色区域的采样应该至少有 $3 \times 3 \text{ pixel}^2$ 的区域，以确保DIC测量的最大精度。

LABORATORY QUESTION 2

DOF是影响DIC测量精度的重要因素之一。这个问题是为了让学生知道在实验过程中标本可以移动多远并保持聚焦。如果标本被设置成只向前(向后)移动，那么当开始实验时，标本应该被放置在DOF的后面(前面)附近，以便当它偏离平面时保持聚焦。

LABORATORY QUESTION 3

这是Question 2中DOF概念的一个应用。在这里，靠近网格外边缘的点将有最高的平面外位移，这限制了可容忍的旋转范围，因此整个标本保持聚焦。

假设水平长度为L的样本绕靠近前表面中心的轴旋转一个角度 θ ，如下图所示。确定样本可旋转的最大角度，使前表面上的所有点都在2中确定的DOF内。

Laboratory 1

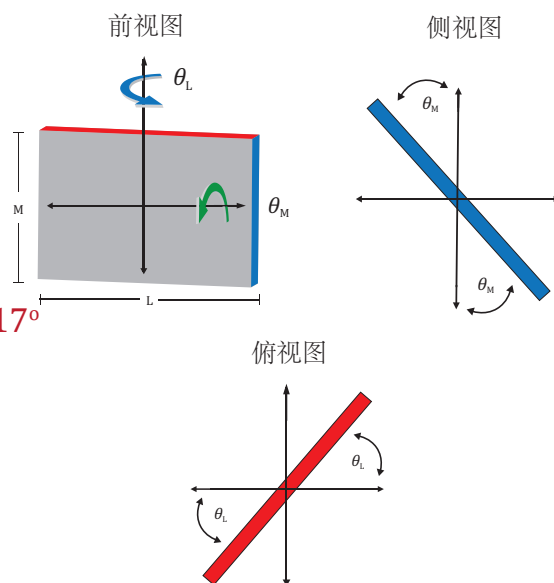
Instructor Notes

基础知识:使用VIC-EDU系统进行非接触表面测量

典型结果

假设 $DOF = \pm \frac{|d_f - d_b|}{2} \cong 3mm$

$\theta \approx \sin^{-1}\left(\frac{2 DOF}{L}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{6}{L}\right)$; 如果 $L = 20mm$, 那么 $\theta \approx 17^\circ$



- **L**和**M**确定标定板可旋转的最大角度，其中**L**和**M**是VIC-EDU系统提供的标定板的实际尺寸。如果这些尺寸没有刻在标定板上，你应该测量**L**和**M**。

$$\theta_L = \sin^{-1}\left(\frac{2 DOF}{L}\right) \quad \theta_M = \sin^{-1}\left(\frac{2 DOF}{M}\right)$$

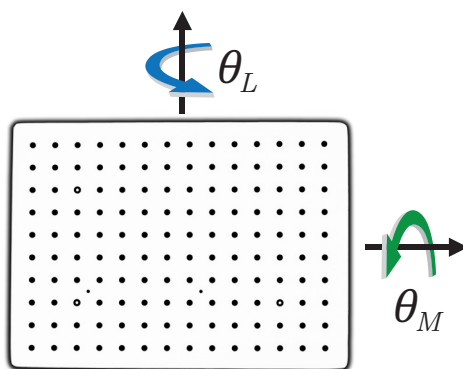


图6:标定板网格和旋转示意图

LABORATORY QUESTION 4

在这里，所要求的信息是让学生了解在展示DIC实验结果时通常需要什么。其中最重要的部分是参数表和标定板信息。

使用提供的标定板，并对VIC-EDU系统进行完整的标定。在你的报告中应包括以下内容。

Laboratory 1

Instructor Notes

基础知识:使用VIC-EDU系统进行非接触表面测量

典型结果

- 标定图像数量: 23 组图像
- 标定板图像之一: 图 7

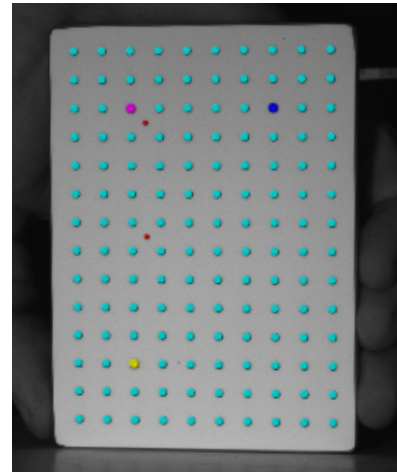


图7:VIC-3D (EDU)对话框窗口中的标定板

- VIC-3D (EDU)软件提供的标定报告, 如果报告中没有, 则包括两张类似于下面的截图。右边的项目文件应该包含相机1和相机2的参数, 以及转换:期望从学生得到的典型结果如图8所示。

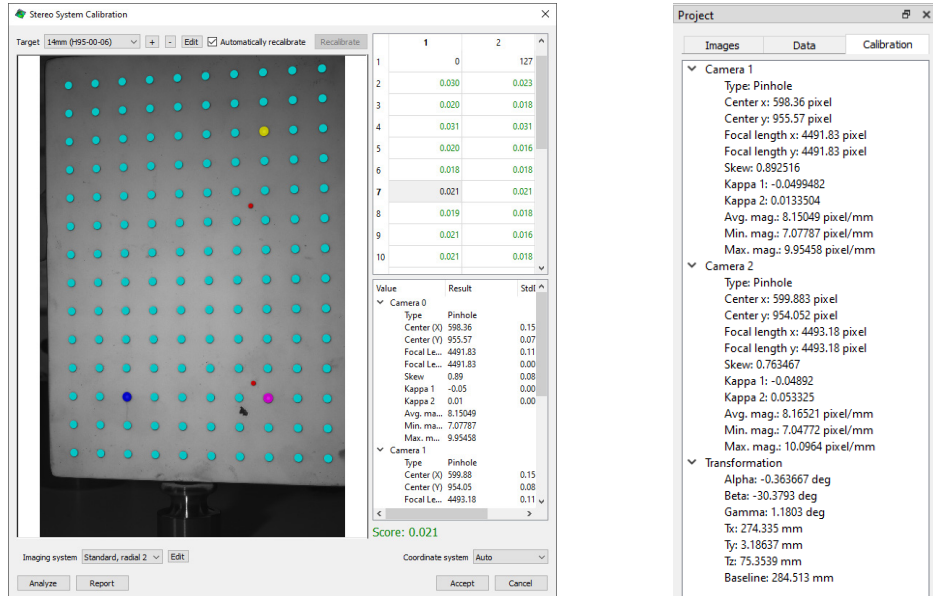


图8:标定对话框窗口和一组典型的相机标定参数。

LABORATORY QUESTION 5 - 分析信息

与标定信息一样, 在分析图像以提取运动/变形信息时, 需要报告几个项目。这是一个需要的项目列表, 以便有人可以重复分析, 并将他们的结果与学生获得的结果进行比较。

典型结果

- ROI: 500 x 500 pixels²:
从图像可知(8 pixels = 1mm); 那么, 500X500 pixels²
相当于 62.5X62.5mm²
子集 (subset) 大小: 21 pixels; 子集间距: 9 pixels
- 子集权重: 高斯权重
插值方法: 八次样条插值 (最高质量)
相关性准则: 归一化平方差
- 一致性阈值: 0.02 pixels
置信区间阈值: 立体置信度 0.05 pixels
匹配性阈值: 0.1 pixels
- Auto plane fit or not: Yes
是否自动设定平面: Not
应变张量与过滤器大小: Lagrange, 5 and 15
- 使用自动设定平面选项的ROI表面($Z(x,y)$)的形状, 其中 x 和 y 分别是名义上的水平线和垂直线, 在样品上, Z 与 x 和 y 线都正交: 典型的形状云图如图9所示。

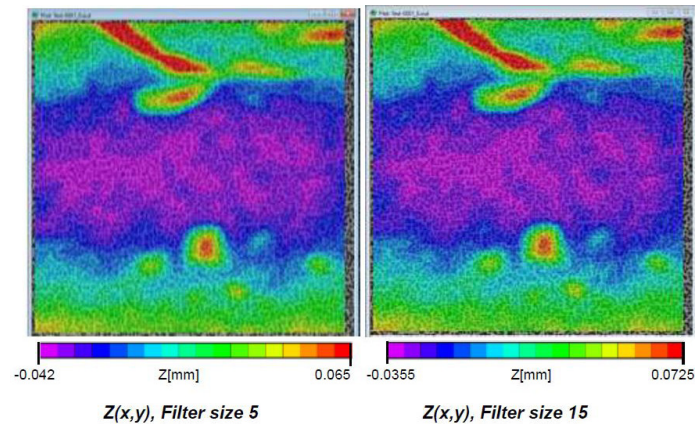


图9:曲面形状的全场图($Z(x,y)$)

- ROI的面外位移 $w(x,y)$: 典型的云图如图10所示。

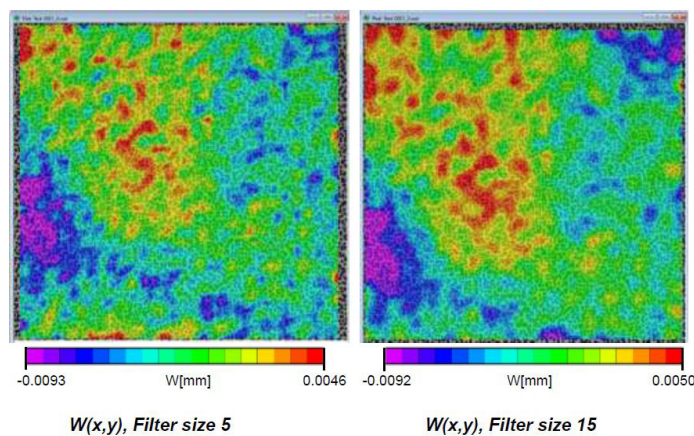


图10:面外位移全场图

Laboratory 1

Instructor Notes

基础知识:使用VIC-EDU系统进行非接触表面测量

- 当过滤器大小为15时,通过ROI中心的一条线为应变 ϵ_{xx} 的水平结果线图
 - 使用过滤器大小为5对 ϵ_{xx} 进行重复分析,并将结果绘制在同一折线图上:应变 ϵ_{xx} 在过滤器大小为5和15时的典型图如下图11所示

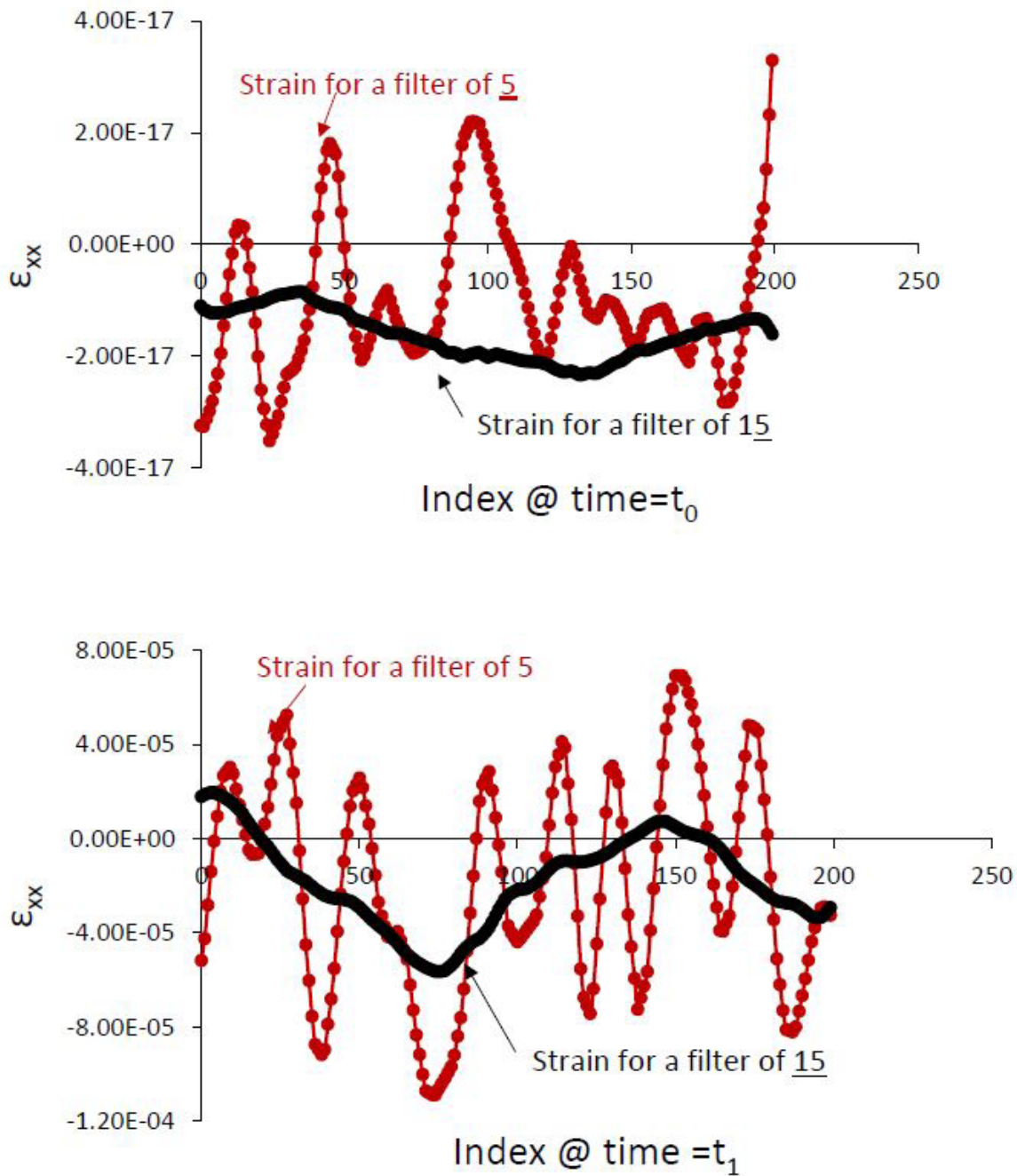


图11:用不同的过滤器在ROI中心沿x轴的应变

Laboratory 1

Instructor Notes

基础知识:使用VIC-EDU系统进行非接触表面测量

- 通过ROI中心的一条线的Von Mises strain 应变的垂线图. Von Mises应变使用5和15过滤器大小的典型图如下图12所示。

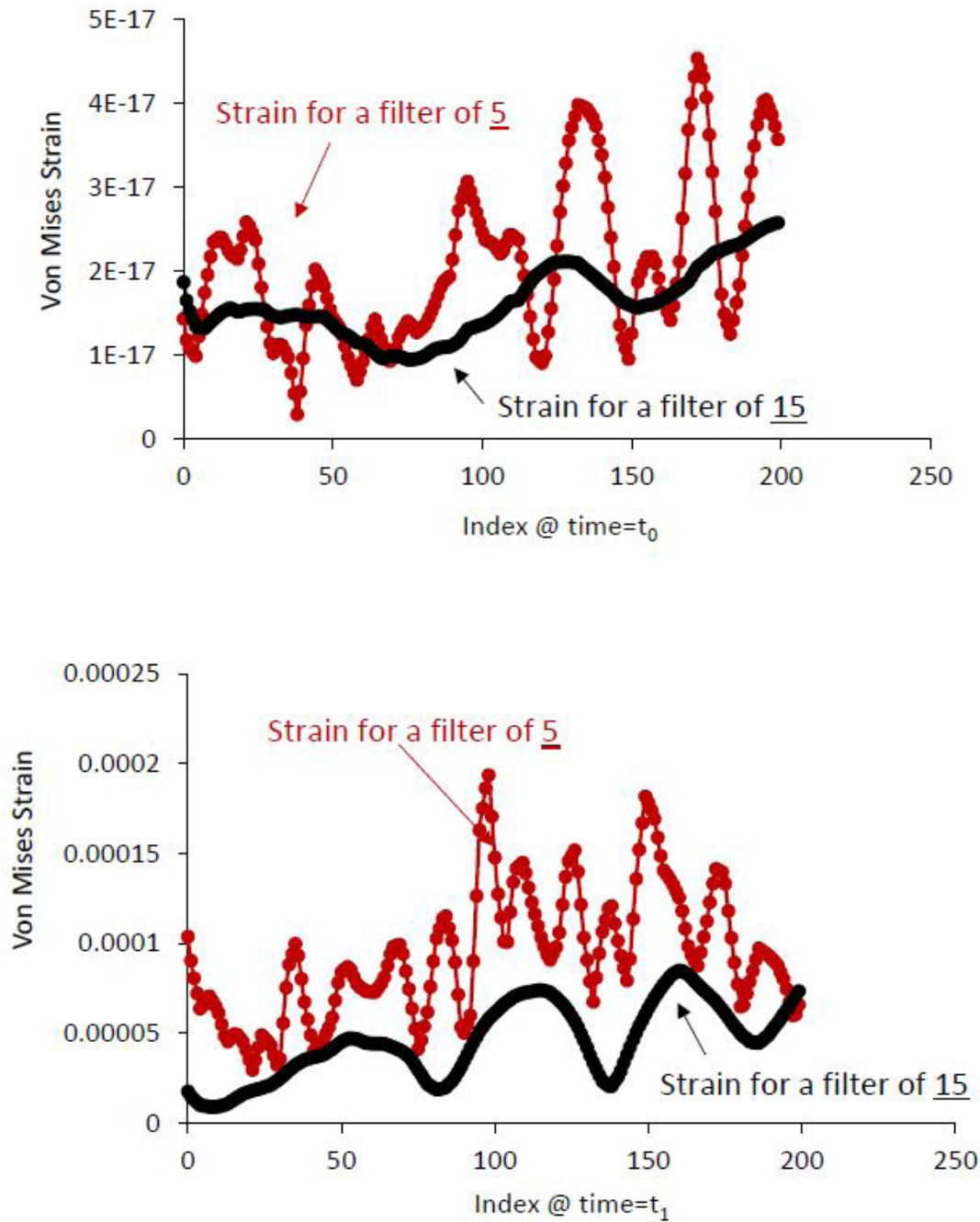


图12: 通过ROI中心, 不同的滤波器大小的Von Mises应变垂线图

LABORATORY QUESTION 6 - 结果信息

标本的形状对于学生来说是很重要的，因为即使名义上平坦的标本也会有轻微的弯曲。

因此，要求学生绘制样本相对于位于表面上某一点的坐标系的形状将是有用的，而且学生可以相对容易地理解。“形状”数据应该由学生讨论他们在数据中看到的“扭曲”或随机变化的数量。

对于要求的应变计算，应变数据应该以零为中心，因为没有加载。当过滤器大小从15到5变化时，应变的变化量应该增加，因为较小的过滤器不能平均很多的数据来获得应变值。例如，如果使用5像素的子集间距，当滤波器为15时，在75 x 75 pixel² 区域的应变是平均的，对于相同的子集间距，如果使用5的过滤器，那么应变平均是在一个25 x 25 pixel² 的区域。让学生沿着一条特定的直线分析应变数据，然后得到数据的标准差和平均值，看看测量中有多大的可变性(标准差)和偏差(平均值从零的偏移)，这是值得的。

参考文献

1. VIC-EDU Operator's Manual, Correlated Solutions Incorporated, www.correlatedsolutions.com
2. MA Sutton, JJ Orteu, and HW Schreier, Image Correlation for Shape Motion and Deformation Measurements; Theory and Applications, Springer (2009) ISBN: 978-0-387-78746-6.
3. Application Note AN-1701: Speckle Pattern Fundamentals, <http://www.correlatedsolutions.com/support/index.php?/Knowledgebase/Article/View/80/1/speckle-pattern-fundamentals>.