



南京理工大学科研训练

结题报告

基于双目视觉的柔性结构多模态振动 检测方法及实验研究

成 员： 何 佳 琪 (主持人)

汪 池 宁

丁 珈 元

指导老师： 郭 毓

摘 要

该科研训练以 MATLAB 为软件平台，以 Quanser 柔性关节设备为对象，以双目视觉为手段，以形态学图像处理为方法，完成了双目视觉检测柔性臂振动信息的实验研究。首先通过双目摄像头的标定完成了双目摄像头的内外参数获取，其次探究形态学图像处理在本科研训练课题上的具体实现和应用，然后系统调试获得检测的振动信息，最后与 Quanser 自带的传感器数据比较、分析其可行性，并运用小波分析去噪优化实验结果。

关键词：形态学，图像处理，双目视觉，小波分析

Abstract

This project, aimed at detecting the vibration of flexible joint, is founded on MATLAB software, targeted at Quanser rotary flexible joint, dependent on binocular vision, and implemented by the thought of mathematical morphology method. Firstly, we got both intrinsic and extrinsic parameters of the cameras by stereo calibration. Then we designed and tested the algorithm using mathematical morphology method. To better analyze the data from image processing procedure and to assess its validity, this train of data is compared with another string of statistics from the sensors mounted in the system. Lastly, we applied wavelet analysis to ameliorate the results.

Key words: mathematical morphology, image processing, binocular vision, wavelet analysis

目录

1. 研究目的和意义	4
2. 实验平台的建立	6
2.1 双目视觉系统	6
2.2 Quanser 柔性关节设备	6
2.3 MATLAB 软件平台	6
2.4 最终实验平台	6
3. 实验过程	7
3.1 双目标定	7
3.2 图像处理	10
3.3 坐标变换	14
3.4 系统初始化	15
3.5 系统实时测量	15
3.6 比较和分析	17
4. 总结和评价	21
4.1 优点	21
4.2 缺点	21
5. 参考文献	22
附录 1	23
附录 2	25
附录 3	27
附录 4	29

1. 研究目的和意义

近年来，航天事业的飞速发展使得航天器所承担的任务的复杂性不断增加，这也导致人们对其结构的要求越来越苛刻，一方面要求降低结构的总质量，另一方面提高承载能力，因此，航天器朝着低刚度、柔性化、大型化的趋势发展。

柔性结构最广泛的应用存在于航天器中，例如卫星或太空工作站的太阳能帆板结构、航天机翼、空间站柔性机械臂、大型抛物面天线等。这些柔性结构在无外阻的近真空太空运行过程中，当本体机动或者受到外部环境干扰作用时，很容易产生持续的低频、较大幅值振动和结构畸变，这将影响到柔性结构的定位精度和指向精度，进而影响其功能的正常发挥和其上各种精密仪器的正常工作；甚至发生共振，对结构产生毁灭性破坏，致使航天器失效。此外长期的振动，会使结构过早产生疲劳破坏，影响使用寿命。因此，航天器柔性结构的振动测量和控制问题，在当今各主要国家大力发展航天事业的背景下，成为工程振动领域和航天领域的热点问题。

针对航天器柔性结构的振动问题，首要的是研究振动测量技术。现有多种振动测量方法，主要分为接触式测量方法和非接触式测量方法两类。常见的接触式测量方法有采用压电陶瓷、加速度计传感器和陀螺仪传感器。采用压电陶瓷测量时，信号放大、滤波等多种环节会引起信号延迟和相位滞后，测量速度慢、范围有限；加速度计传感器和陀螺仪传感器对噪声敏感，存在迟滞和温漂等问题，测量精度受到限制。接触式传感器需要与被测物体进行机械接触，这给轻质结构带来了附加的质量和一定的约束，影响被测物体的动态性能和测量结果。

非接触式的测量方法具有对被测对象无损伤，不影响被测对象的动态性能和正常工作等优点。目前比较常用的非接触式测量方法是光学测量方法，有光电位置传感器、光纤光栅传感器和机器视觉等方法。光电位置传感器的测量范围较小，结构复杂、操作难度大、计算过程繁琐且成本昂贵。光纤光栅传感器最主要的问题是传感信号的解调；另外，由于光纤光栅比较脆弱，非常容易破坏，需要对其进行封装后才能使用，封装工艺和保护措施结构复杂。这些测量方法都需要有额外的光源（激光）、复杂的干涉光路及其辅助装置系统，增加了测量的成本和复杂性。随着图像处理及模式识别技术的发展，机器视觉逐渐成为测量振动参数最灵活、最有效的方法之一。

与其他光学方法相比，机器视觉的振动测量是一种新方法，该方法不需要激光光源、复杂的干涉光路及其辅助装置系统，可以同时测量图像平面内各个像素点的运动，具有非接触、测量范围宽、不改变被测物的振动特性等诸多优点。因此，机器视觉方法是一种较灵活、低成本的测量技术，有广阔的应用前景。研究基于机器视觉的柔性结构振动测量方法具有重要的应用价值。双目视觉是属于机器视觉的一种测量手段，即能够根据相机获得的视觉信息，测量出目标物体的位置、尺寸等信息。双目视觉顾名思义，就是有两台相机同时检测，相较于传统的单目视觉，具有方便地进行三维重建、求取深度等优越性，越来越多地应用于监测和测量的领域。

2. 实验平台的建立

该科研训练的实验平台主要包含以下几个部分。

2.1 双目视觉系统

由水平固定在三脚架上的两个相同型号的 USB 2.0 摄像头（FONHOO 相机和 6mm 的 f1.2 镜头）组成双目视觉系统，为便于识别及后续图像区分，分别标记为左摄像头和右摄像头。

2.2 Quanser 柔性关节设备

由加拿大 Quanser 公司设计生产的 Quanser 柔性关节设备是该科研训练的对象，实物如图 2.1 所示。该设备由通用电机模块（图 2.1 中立方体底座）由电信号驱动，配合数据采集板和电机供电电源箱使用。



图 2.1 Quanser 柔性关节设备

2.3 MATLAB 软件平台

MATLAB 作为以矩阵为基本数据单位的数学软件，在图像处理方面自然有很强的优越性能，并且其大量丰富的高级图像处理函数也给实际操作带来了方便。该科研训练课题的图像采集、图像处理以及振动信息获得都在 MATLAB 中实现。

2.4 最终实验平台

最终搭建的实验平台表示如图 2.2 所示，实验室实物照片如图 2.3 所示。

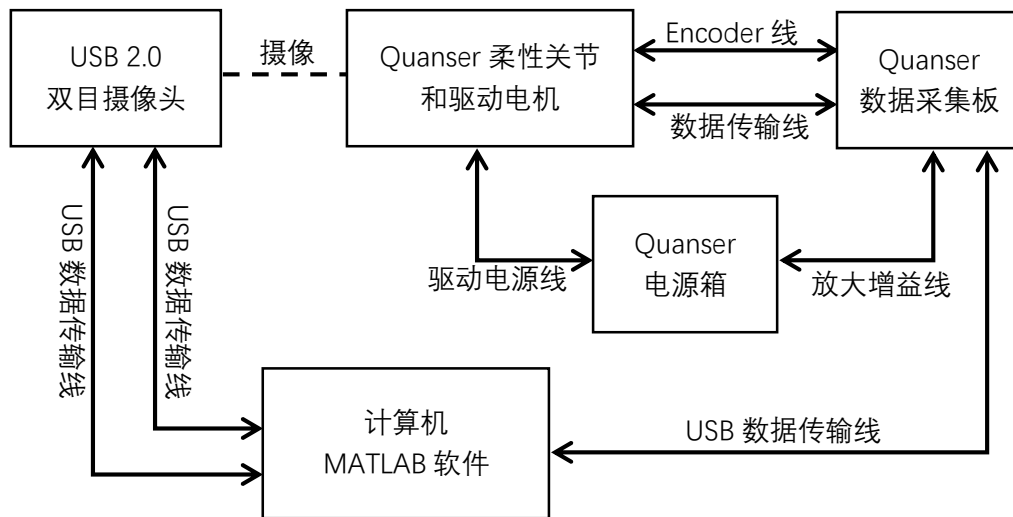


图 2.2 实验平台框图



图 2.3 实验平台实验室实物照片

3 . 实验过程

3.1 双目标定

建立双目视觉的检测系统首要任务是对相机进行标定，这是为了从 2D 的摄像平面计算 3D 环境物体的位置、形状等几何参数，即求出摄像机的内外参数，广义的讲，内参数包括焦距、摄像机光轴与图像平面的交点坐标、每个像素在 x 、 y 轴的物理尺寸 dx 、 dy 等，外参数即摄像机坐标系与世界坐标系之间的相对位置矩阵，包括旋转矩阵和平移矩阵^[1-2]。

关于相机的标定技术，主要围绕两点展开，即相机几何模型和相机的标定法，首先建立一个能反应相机获取图像的几何模型，再通过几何模型建立相应的方程组合约束条件进行参数求解，反过来就可以通过建立的几何模型对图像信息进行三维重建，从而实现了相机标定。

该实验基于 MATLAB 实验平台，可以直接使用其中的立体视觉工具箱 Stereo Camera Calibrator 进行标定。该工具箱集成化程度高，只需导入标定时拍摄的标定板照片对，即可获得详尽的标定参数^[8]。

标定所使用的标定板如图 3.1 所示，它是一块 6×8 的黑白棋盘格，每个方格的边长均为 30mm。因此在标定时，可以从每幅图像中提取到 5×7 个角点用于标定参数的计算。

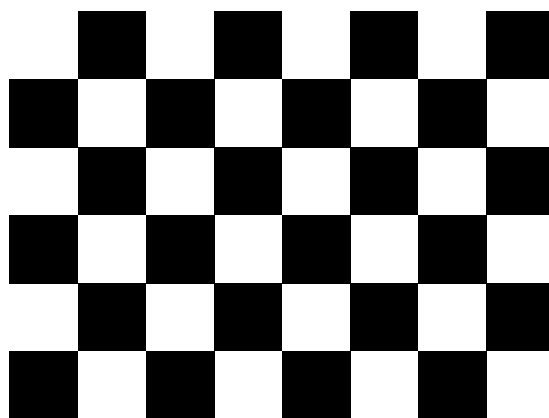
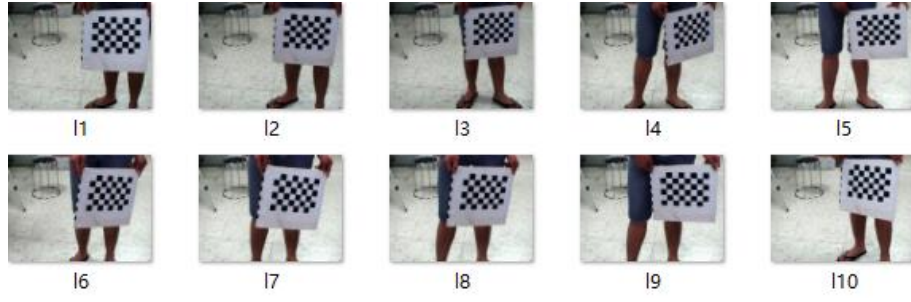


图 3.1 6×8 标定板

双目摄像机对标定板进行同时拍摄取景，并保存图像，左右摄像头拍摄得到的图像区分并存放在不同的文件夹里。如图 3.2 所示为标定前所拍摄的 10 组标定图像。



(a) 左摄像机的标定图像



(b) 右摄像机的标定图像

图 3.2 双目摄像头拍摄的 10 组标定图像

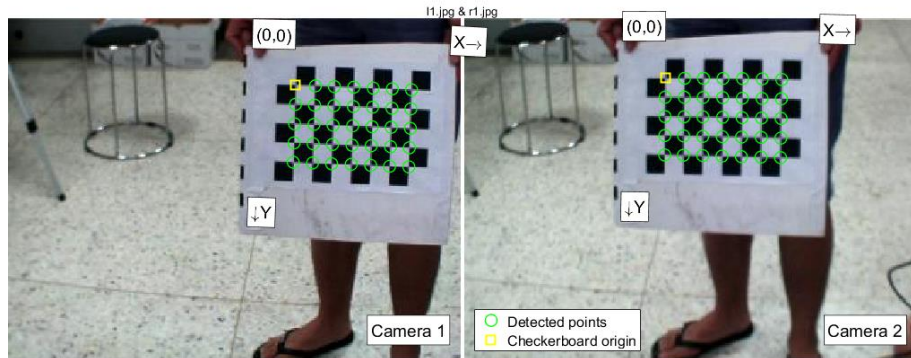


图 3.3 MATLAB 工具箱自动标识的角点（第一组标定图片）

将 10 组标定图像导入 MATLAB 立体视觉标定工具箱中，即可得到工具箱自动标识的角点，以第一组标定图片为例，标注角点的图像如图 3.3 所示。确认自动搜寻的角点无误后，即可获得详细的标定结果，其中“Extrinsics”标定结果如图 3.4 所示，清楚地还原了拍摄标定图像时的状态。标定结束后，将标定参数导出以备后续工作调用。在获得的标定参数中，重要的标定参数如下：

$$\text{旋转矩阵 } \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.9953 & 0.0185 & 0.0954 \\ -0.0155 & 0.9994 & -0.0318 \\ -0.0959 & 0.0301 & 0.9949 \end{bmatrix}$$

$$\text{转移矩阵 } \mathbf{T} = [100.9023 \quad 1.9663 \quad 14.7654]$$

$$\text{基本矩阵 } \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & -0.0001 & 0.0083 \\ 0 & 0 & -0.2050 \\ -0.0017 & 0.2112 & -0.2370 \end{bmatrix}$$

$$\text{本质矩阵 } \mathbf{E} = \begin{bmatrix} -0.0850 & -14.8186 & 1.5113 \\ 5.0728 & 2.9762 & -101.8072 \\ -0.0946 & 100.8697 & 3.2293 \end{bmatrix}$$

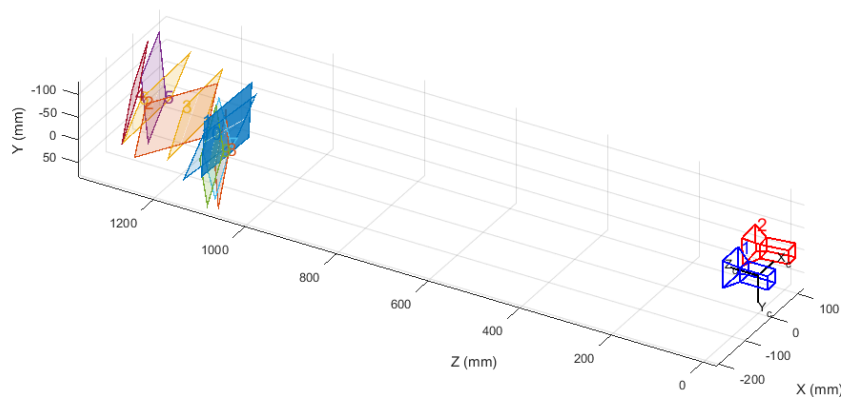


图 3.4 双目标定结果 (Extrinsics)

3.2 图像处理

完成双目标定后，对 Quanser 柔性关节设备拍摄一组测试图片，以备图像处理算法运行。测试图片如图 3.5 所示。



(a) 左摄像头

(b) 右摄像头

图 3.5 双目视觉测试图片

图像的目标检测是图像处理中重要的课题，意义深远，应用广泛。传统的目标检测方法是线性的并基于统计理论，已经无法满足新的目标检测的需求。数学形态学是一种非线性图像信号处理和分析理论，在把握信号中的几何结构信息上具有很大优势，符合人类的感知系统，因此目前已经受到了越来越广泛的重视，

并得到了迅速的发展^[3]。具体来说,形态学图像处理的思想是基于通过一小区域形状或模板(结构元素)来对图像进行处理,这种方法适用于图像处理的各个方面,例如基于形态学滤波器的颗粒分析,基于腐蚀和开运算的骨架抽取等。

膨胀和腐蚀是两种最基本的形态学运算,大多数其他形态学算法都是以这两种运算为基础。数学上,膨胀定义为集合运算, A 被结构元素 B 膨胀,记为 $A \oplus B$,其原理如下:在平移结构元素的过程中,使得结构原点到所有可能的图像像素点来检测图像,当结构元素和像素值为 1 像素点重叠,即结构元素击中图像,则输出 1,否则输出 0。腐蚀的数学定义与膨胀类似, A 被解构元素 B 腐蚀记为 $A \otimes B$,其原理同样可以表述为:在结构元素在整个图像区域平移的过程中,结构元素的原点到所有可能的图像像素点检查图像,当结构元素与图像的前景部分完全匹配时,即结构元素适合图像,则输出 1,否则输出 0。由于腐蚀和膨胀的程度由结构元素控制,选择合适的结构元素对图像进行处理从而达到改进图像性能的目的显得尤为重要。但是单独使用膨胀和腐蚀进行图像处理其用途是有限的,通过对这两种基本操作的组合可达到更有效的处理效果^[4-5]。

由于 MATLAB 中含有丰富的形态学图像处理函数,这一优点使得用户在用形态学方法进行处理时能尽可能达到所需要的效果。形态学技术对图像进行预处理的过程中能够很好实现对图像的滤波、细化和裁剪,还能实现对图像边缘检测及特征提取^[6-7]。

观察测试图片，可以发现位于柔性关节末端的螺钉与周围环境相比较为突出，将其选择为检测目标比较合理。因此利用形态学图像处理的思想，对测试图片做的处理用流程图表示如图 3.6 所示。

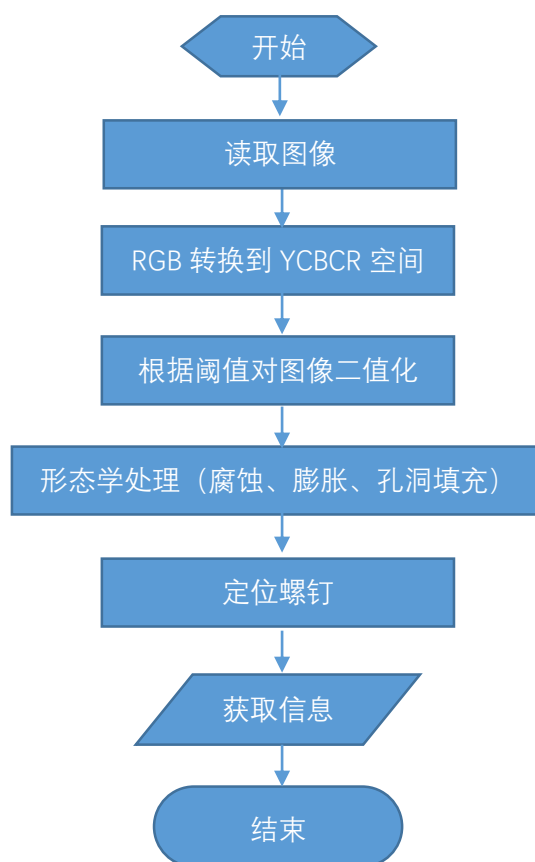
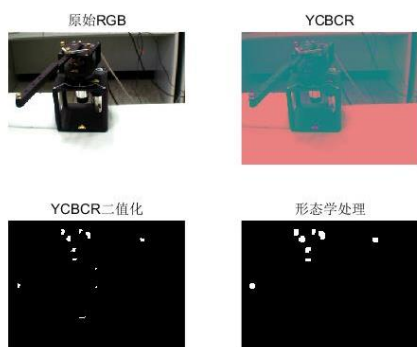


图 3.6 形态学图像处理检测螺钉流程图

具体的形态学图像处理算法见附录 1。分别对测试图片进行形态学处理，可以得到最终检测结果，如图 3.7 所示。

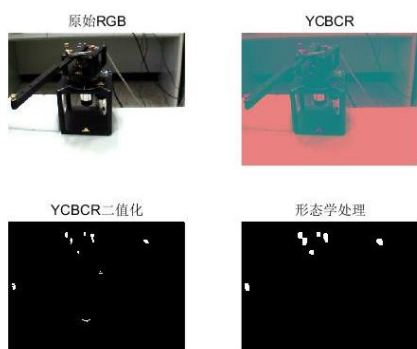
由以上图像处理得到的结果可知，该形态学图像处理算法合理地提取出了螺钉的位置，获得了左右摄像头视野中的目标信息。留意到由于阈值是依据颜色设定的，在二值化操作结束后，位于底座底部的三角形黄色标识也被标记成了有效 1，但最终由于形态学腐蚀、膨胀、孔洞填充后，而被汰除。为了减小影响，可以将其用黑色纸片遮盖。另外，安装在柔性关节根部的螺钉也由于同样原因而被标记成了有效 1，为了减小它们的干扰，也加快识别算法的判断，可将双目摄像头抬高并调整角度，使得视野内只存留一个目标螺钉。调整后的左右摄像头拍摄的图像以及形态学图像处理后的结果如图 3.8 和图 3.9 所示，与之前处理结果比较，图像干扰信息明显减少，图像处理算法可靠性得到增强。



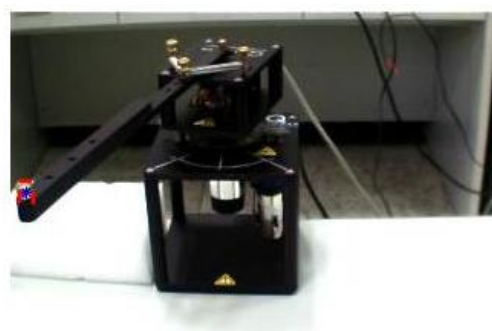
(a) 左摄像头测试图片逐步处理结果



(b) 左摄像头测试图片最终检测结果



(c) 右摄像头测试图片逐步处理结果



(d) 右摄像头测试图片最终检测结果

图 3.7 测试图片的形态学图像处理

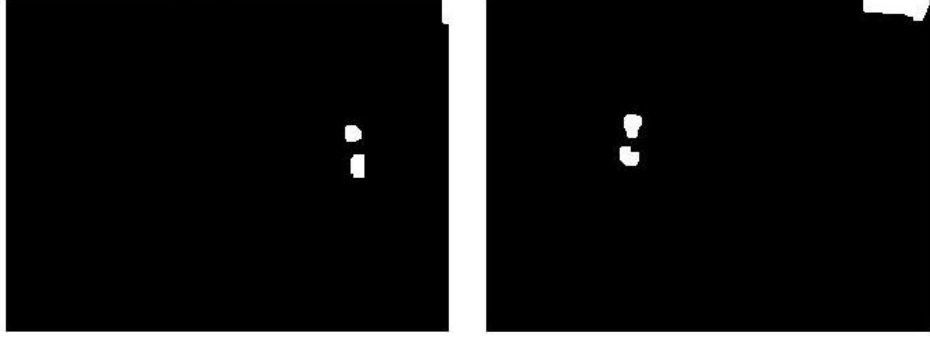


(a) 左摄像头



(b) 右摄像头

图 3.8 调整后的双目视觉图像



(c) 左摄像头

(d) 右摄像头

图 3.9 调整后图像的形态学图像处理结果

3.3 坐标变换

完成单张图像的形态学图像处理算法后，要实现对对象的实时测量和绘图功能。首先，确定带测量量。由于形态学图像处理算法返回的数值是目标几何中心在左右图像中的像素点坐标，该坐标是图像坐标系中的数值，并不具有任何实用价值，需要通过几何关系转换才能得到世界坐标系中的参数。应用几何学定则，可以得到转换公式如下：

$$\text{变换矩阵 } \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & 0 & -c_y \\ 0 & 0 & 0 & f \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_x} & \frac{c_x - c_{x'}}{T_x} \end{bmatrix}$$

$$\text{变换公式 } \mathbf{Q} \begin{bmatrix} x \\ y \\ d \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - c_x \\ y - c_y \\ f \\ \frac{-d + c_x - c_{x'}}{T_x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{bmatrix}$$

其中，各参数的含义分别为：参数有焦距 f ，视差 d ，摄像头中心距 T_x ，左右像平面的坐标系与立体坐标系中原点的偏移 c_x 和 c_y ^[9]。

在MATLAB中，坐标变换的求解可以直接调用`triangulate`函数，自变量为两幅图像目标位置的图像坐标和双目视觉标定参数，因变量为以左摄像机（MATLAB中定义的第一个相机）透镜光心为坐标原点，水平向右为 x 轴，竖直向下为 y 轴，远离摄像头方向为 z 轴的空间直角坐标系。

3.4 系统初始化

为了使系统快速运行，并给实时测量提供初始状态参数作为后续计算依据，应当设计系统初始化程序，使系统进入被测准备状态。初始化程序用流程图表示如图 3.10 所示。

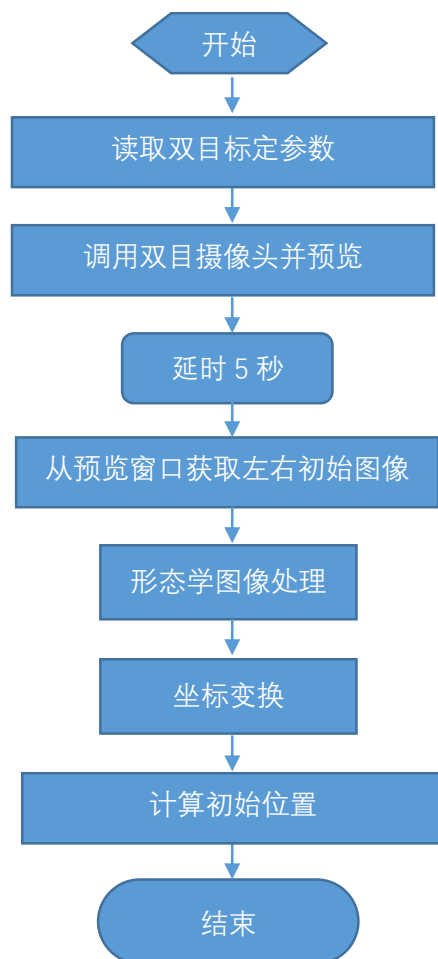


图 3.10 系统初始化程序流程图

具体的初始化程序详见附录 2。

3.5 系统实时测量

系统实时测量前需要确定合理的检测时间周期。过短的检测周期会使得每次形态学图像处理算法来不及运行完毕，检测时间越长，数据滞后越严重，失去实时性。例如，假定检测周期为 1ms，则第 1000 个数据点应为 1s 时刻的数据，然而由于每次图像处理时间较长，实际采集得到的第 1000 个数据为 1.5s 时刻的数据，滞后于计划时刻，丧失了实时性能。反之，过长的检测周期又会使得相邻两

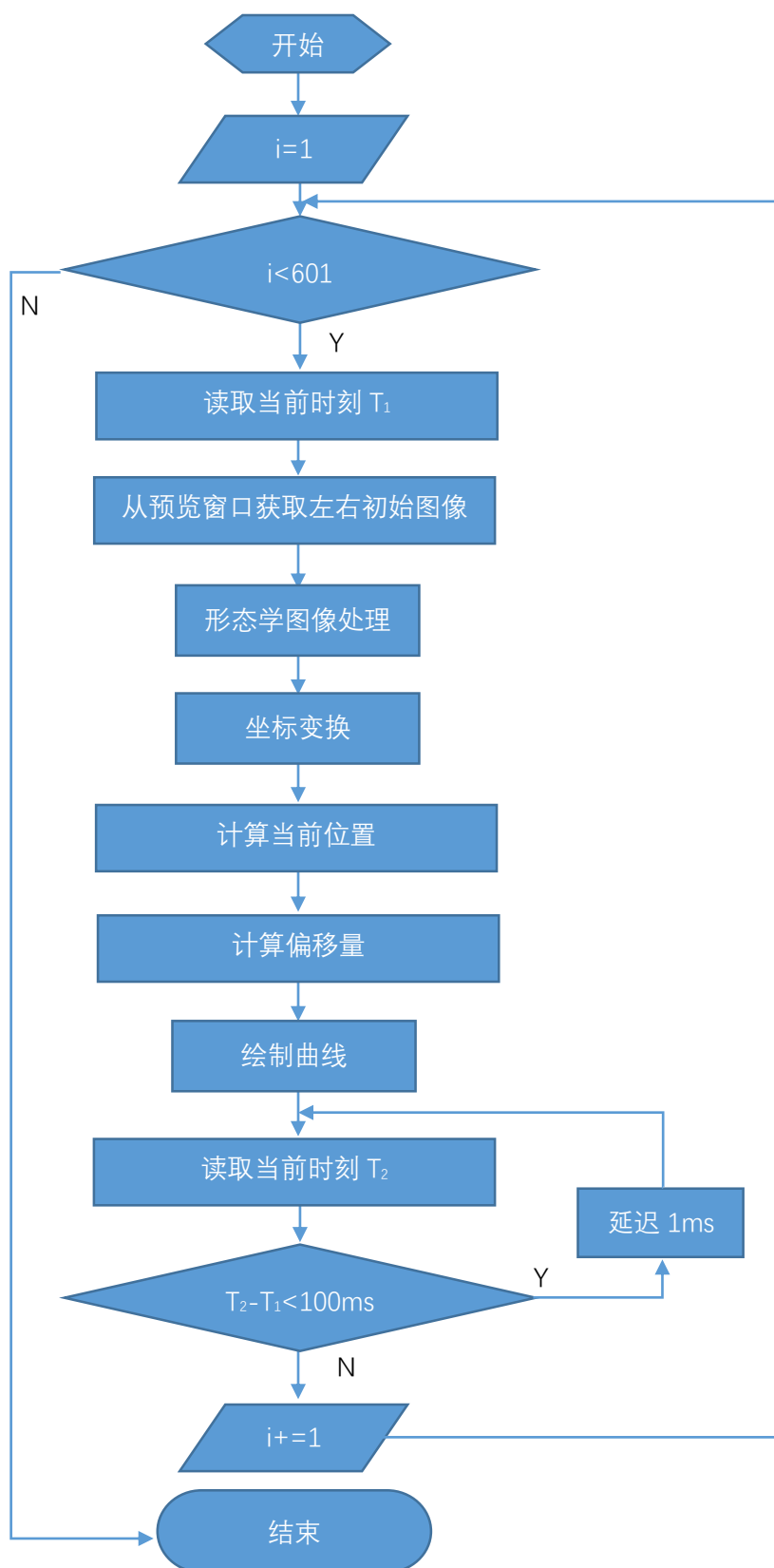


图 3.11 实时测量绘图程序流程图

次数据之间间隔过长,数据已有较大变动却不能反映,实时性亦无法保证。因此,应当合理的确定检测周期。经过数十次模拟运行,发现完成单次图像处理需要的时间在 60~90ms 内,为便于数据分析,取检测周期为 100ms。另外,规定检测时长为 60s。

对初始化程序稍作修改,加入时间控制程序,即可用于实时测量。实时测量绘图的程序用流程图表示如图 3.11 所示。偏移量定义为在 x 轴方向上与初始位置为基准的移动距离。具体的实时测量绘图程序详见附录 3。

在实时测量绘图时,发现曲线中时会出现一个数值极大的异常点,如图 3.12 (a) 中标识的数值所示。经过多次运行并分析,发现其产生的原因是在某些时刻采集得到的图像整体过暗,目标螺钉颜色过暗,不满足阈值的筛选,使得经过二值化处理后图像中没有任何有效区域,从而产生了异常值。为了解决这个问题,可在程序中添加一段简易的修正代码,用以修正这种异常值的出现。方法是:根据目标在左右摄像头视野内所能移动的最大范围,设定一个位移量的阈值(0.15m),超过阈值即认为出现异常,将数据修正为前一时刻的数据值。重复实验,得到新的结果。带有修正的实时测量绘图程序得到的某一次测量结果如图 3.12 (b) 所示。

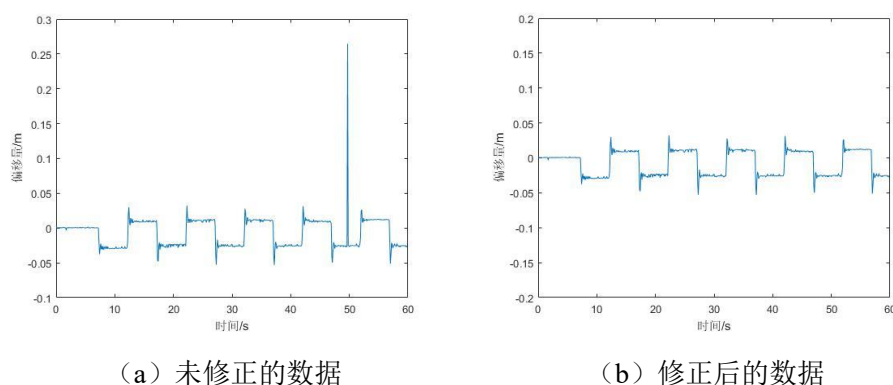


图 3.12 实时测量结果

3.6 比较和分析

Quanser 柔性关节设备^[10]自带传感器,每次运行都会记录下每次运行后由自身的传感器测量得到的数值。查看 Quanser 设备说明书后得知,设备传感器测量两个物理量 α 和 θ ,其中 θ 指基座转角,以度为单位, α 指连杆与基座中心线的偏移角度,以度为单位。Quanser 设备中的各相关参量表示在图 3.13 所示。

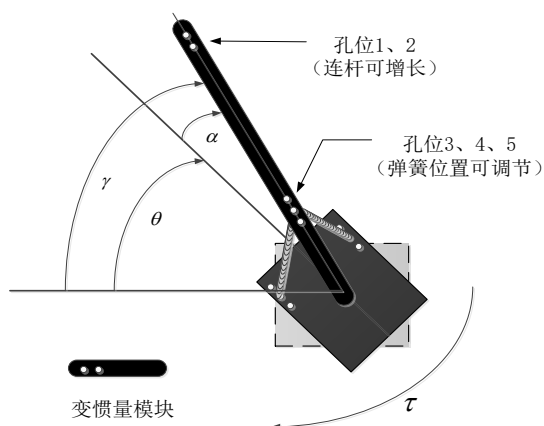
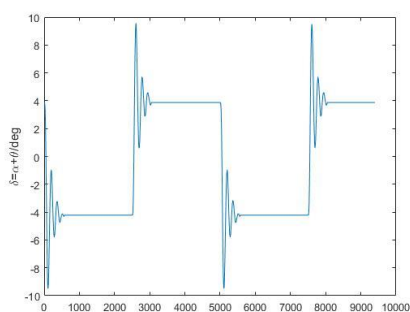


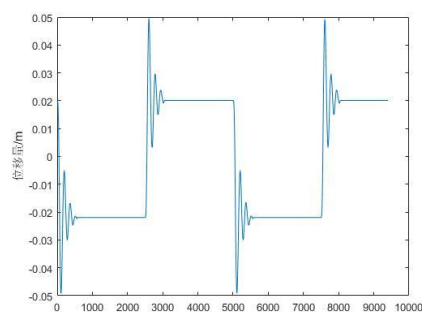
图 3.13 Quanser 柔性关节系统示意图

为了将通过图像处理得到的实时数据和 Quanser 传感器测量的数据统一起来得以比较，现定义变量 $\delta = \alpha + \theta$ ，则利用几何关系，可得 $x = L \sin \delta$ ，其中 L 为连杆长度， x 即为偏移量。查阅说明书得： $L = 0.298\text{m}$ 。

重新实验，利用获取的传感器测量振动信息数据，得到的 δ 如图 3.14 (a) 所示，相应的偏移量 x 如图 3.14 (b) 所示；通过图像处理得到的数据如图 3.14 (c) 所示。分别从两种来源的数据中抽取一个周期的数据以备使用。再者，因为传感器和图像处理实时测量的数据在每个周期的数据维度不一致，还需要对传感器数据进行采样使得二者每个周期同维。经过抽样调整后，绘制两种来源的数据比较图像如图 3.14 (d) 所示。



(a) 传感器数据 δ



(b) 传感器数据 x

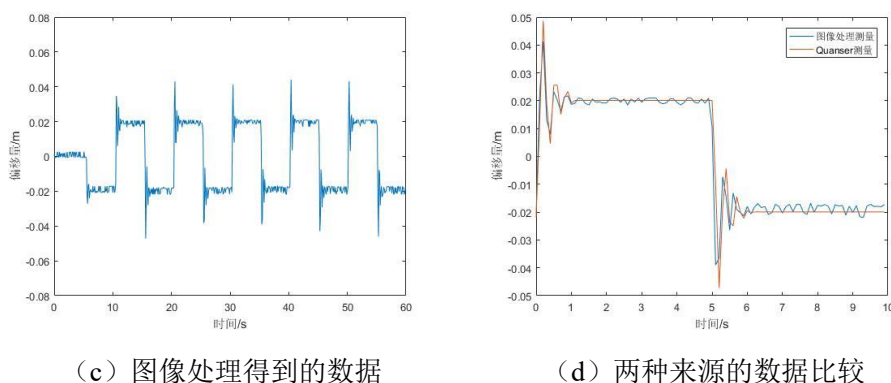


图 3.14 两种数据来源的实时测量结果

从图中显示的结果来看，通过形态学图像处理得到的偏移量与通过 Quanser 传感器得到的偏移量基本吻合，但是形态学图像处理的结果略有不稳定，伴有很小范围波动的误差。如果对图 3.14 (d) 中的两组数据分别进行 256 点的 FFT 运算，得到的频谱分别如图 3.15 (a) 和图 3.15 (b) 所示。从频率谱上对比来看，两种来源的数据十分相近，可见形态学图像处理的轻微不稳定扰动并不会对振动的频率信息造成干扰。

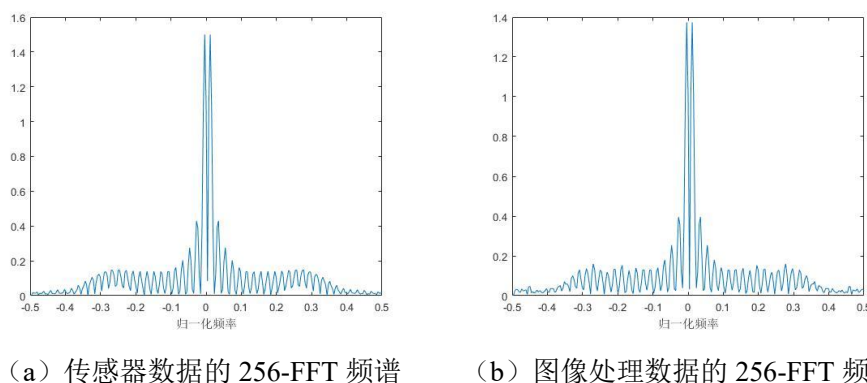
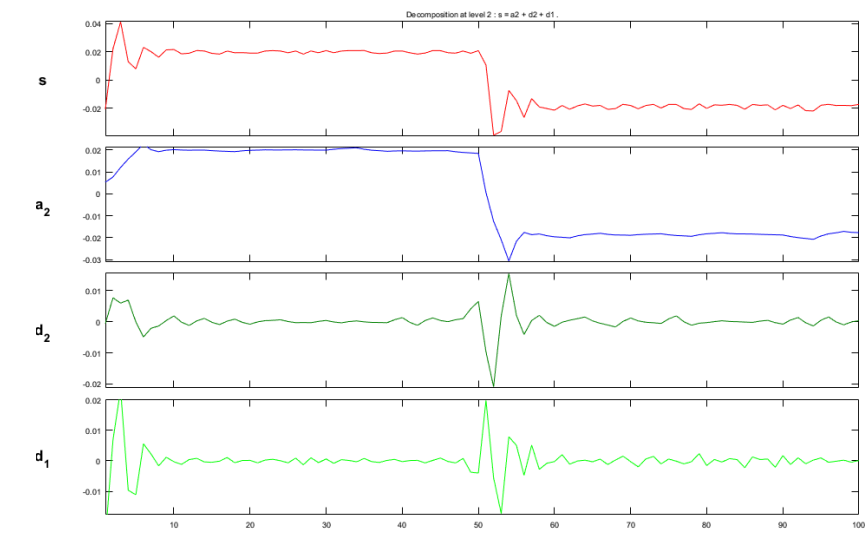


图 3.15 两组数据的 256 点 FFT 频谱

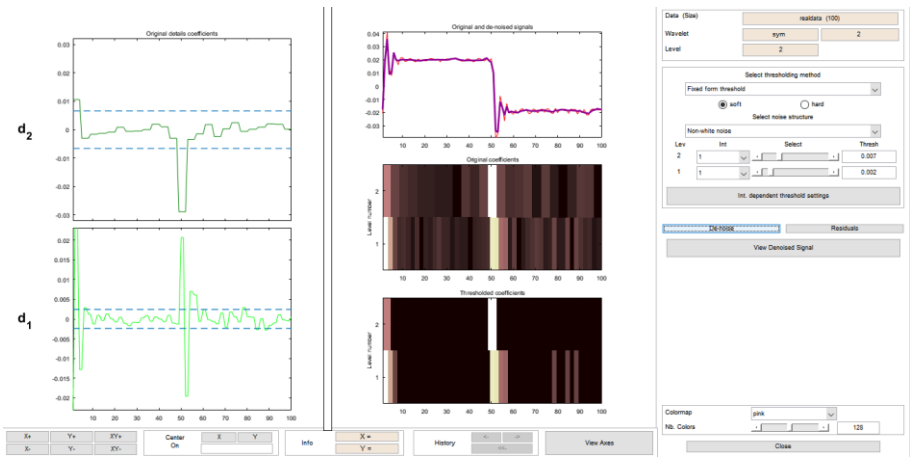
为了在时域也能获得同传感器相比拟的结果，可以对形态学图像处理数据进行小波分析去噪。在数学上，小波分析去噪的根本是一个函数的逼近问题，即如何在由小波母函数伸缩和平移版本所展成的函数空间中，根据预先规定的衡量准则，寻找到对原信号的最佳逼近，从而实现原信号和噪声信号的两者区分[11-13]。利用 MATLAB 的工具箱可以轻易地得到分析和去噪效果，如图 3.16 (a) (b) 所示。具体的程序详见附录 4。

将去噪后的数据再和 Quanser 传感器数据对比，如图 3.16 (c) 所示。图 3.16 (d) 为去噪数据的 256 点 FFT 频谱图。从图中可以看出，去噪后的数据与传感

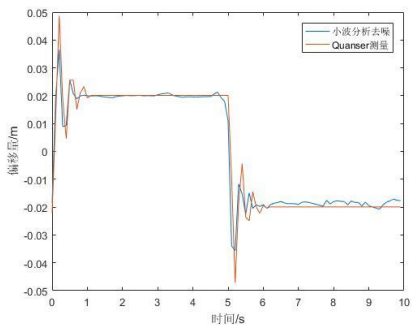
器数据更相近，不稳定扰动明显减弱。由频谱图可看出，小波分析对频域几乎没有影响，保证了测得的振动的频率信息的纯净。



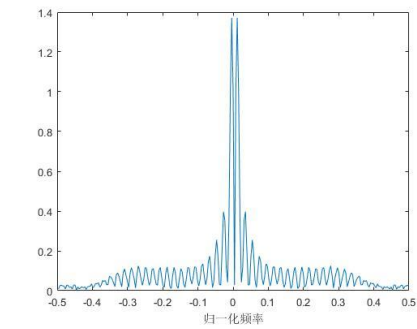
(a) 小波分析



(b) 小波去噪



(c) 小波分析去噪后的数据



(d) 去噪后数据的 256-FFT 频谱

图 3.16 图像处理数据的小波去噪结果

4. 总结和评价

该科研训练以 MATLAB 为软件平台，以 Quanser 柔性关节设备为对象，以双目视觉为手段，以形态学图像处理为方法，完成了双目视觉检测柔性臂振动信息的实验研究。首先通过双目标定完成了双目摄像头的内外参数获取，其次探究形态学图像处理在本科研训练课题上的具体实现和应用，然后系统调试获得检测的振动信息，最后与 Quanser 自带的传感器数据比较、分析其可行性，并运用小波分析去噪改进实验结果。

4.1 优点

该实验方法所具有的优点如下：

- (1) 非接触式测量。非接触式的测量方法具有对被测对象无损伤，不影响被测对象的动态性能和正常工作等优点。
- (2) 成本低廉，用途广泛。摄像头同其他用于检测的元器件相比，并直接和处理器设备相连，无需外加电源、导线等辅助设备，因此成本低廉，工作环境受限小，可应用在许多工作场合。
- (3) 移植性好。形态学图像处理算法作为算法核心，移植性好，只要设定对应预期目标的合理阈值，辅以适当的腐蚀、膨胀、孔洞填充，即可较好的识别出目标，并非限制于本实验中的螺钉。

4.2 缺点

本实验方法也存在一些缺点：

- (1) 与传感器测量相比结果有扰动。形态学图像处理存在不稳定的情况。其一是异常值的出现，这体现出算法一定程度上依赖取得的图像的质量；其二是小幅扰动的存在，这体现出形态学图像处理的识别不能很精确地反映振动信息，存在小幅误差，在高精度场合表现逊色。
- (2) 算法时间复杂度高。形态学图像处理的周期设定在 100ms，与 Quanser 传感器每 2ms 就反馈一次数据相比慢了很多，因此该实验的形态学图像处理算法时间复杂度高，单次运算耗时，在高频振动检测中表现一般。

5. 参考文献

- [1] Zhen Liu, Yang Yin, Qun Wu. On-site calibration method for outdoor binocular stereo vision sensors[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2016(86):75-82.
- [2] 李瑞峰, 李庆喜. 机器人双目视觉系统的标定与定位算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(11):1719-1722.
- [3] 余莉. 基于数学形态学的目标检测[D]. 国防科学技术大学, 2005.
- [4] 闫海霞. 基于数学形态学的图像边缘检测和增强算法的研究[D]. 吉林大学, 2009.
- [5] 罗秋棠. 基于数学形态学的图像处理算法[J]. 电子技术与软件工程, 2016(6):80-81.
- [6] 王娟, 周金芝. 基于 MATLAB 的形态学图像处理研究[J]. 计算机论坛, 2012(4):135-136.
- [7] Mathematical morphology and its applications to image processing[M]. Springer Science & Business Media, 2012.
- [8] 崔华南. 双目立体摄像机标定技术在凹地障碍识别中的应用研究[D]. 长春理工大学, 2009.
- [9] 蔡健荣, 赵杰文. 双目立体视觉系统摄像机标定[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2006, 27(01):6-9.
- [10] Instructor Workbook of flexible joint experiment for MATLAB/Simulink users, Quanser Inc., printed.
- [11] Emmanuel Haven, Xiaoquan Liu, Liya Shen. De-noising option prices with the wavelet method[J]. European Journal of Operational Research, 2012(222):104-112.
- [12] C. Mishra, A.K. Samantaray, G. Chakraborty. Rolling element bearing defect diagnosis under variable speed operation through angle synchronous averaging of wavelet de-noised estimate[J]. Mechanical System and Signal Processing, 2016(72):206-222.
- [13] 张旭东, 詹毅, 马永琴. 不同信号的小波变换去噪方法[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 石油地球物理勘探, 2007, 42(S1):118-123.

附录 1

```
%清空变量，读取图像
%clear;close all
RGB = imread('test_left.jpg');
figure('name','process'),
subplot(2,2,1),imshow(RGB),title('原始RGB'),

%convert frame from RGB to YCBCR colorspace (转换到YCBCR空间)
YCBCR = rgb2ycbcr(RGB);
% whos,
subplot(2,2,2),imshow(YCBCR),title('YCBCR'),
%filter YCBCR image between values and store filtered image to threshold
%matrix (用各个通道的阈值对其进行二值化处理)
Y_MIN = 0; Y_MAX = 256;
Cb_MIN = 100; Cb_MAX = 127;
Cr_MIN = 137; Cr_MAX = 171;
threshold_left=roicolor(YCBCR(:,:,1),Y_MIN,Y_MAX)&roicolor(YCBCR(:,:,2),Cb_MIN,Cb_MAX)
&roicolor(YCBCR(:,:,3),Cr_MIN,Cr_MAX);
subplot(2,2,3),imshow(threshold_left),title('YCBCR二值化'),

%perform morphological operations on thresholded image to eliminate noise
%and emphasize the filtered object(s) (进行形态学处理：腐蚀、膨胀、孔洞填充)
%erodeElement = strel('square', 3) ;
erodeElement = strel('square', 3) ;
dilateElement=strel('square', 6) ; %控制膨胀情况
threshold_left = imerode(threshold_left,erodeElement);
%threshold_left = imerode(threshold_left,erodeElement);
threshold_left=imdilate(threshold_left, dilateElement);
%threshold_left=imdilate(threshold_left, dilateElement);
threshold_left=imfill(threshold_left,'holes');
subplot(2,2,4),imshow(threshold_left),title('形态学处理'),

%获取区域的'basic'属性， 'Area', 'Centroid', and 'BoundingBox'
figure('name','处理结果'),
stats = regionprops(threshold_left, 'basic');
%[C,area_index]=min([stats.Area]);
%定位钉子区域
%nail_locate=[stats(area_index).Centroid(1),stats(area_index).Centroid(2)];
row=[stats.Centroid];
length=size(row,2)/2;
Centroid_array=reshape(row,2,length);
[maxNum,max_index]=max(Centroid_array(2,:));
nail_locate=Centroid_array(:,max_index);
```



```

% nail_locate=[stats(length).Centroid(1),stats(length).Centroid(2)];
imshow(ROI);title('after'),hold on
%text(nail_locate(1),nail_locate(2)-40, 'face','color','red');
plot(nail_locate(1),nail_locate(2), 'b*');
rectangle('Position',[stats(max_index).BoundingBox], 'LineWidth',2,'LineStyle','--','EdgeColor','r'),
hold off

```

附录 2

```
%initialization
clc
load('calibrationSession.mat');
stereoParams=calibrationSession.CameraParameters;
info=imqhwinfo;
obj_left = videoinput('winvideo',1);
obj_right = videoinput('winvideo',2);
preview(obj_left)
preview(obj_right)
pause(5);
%get initial value

frame_left = getsnapshot(obj_left);
frame_right = getsnapshot(obj_right);
%convert frame from RGB to YCBCR colorspace (转换到YCBCR空间)
YCBCR_left = rgb2ycbcr(frame_left);
YCBCR_right = rgb2ycbcr(frame_right);
%filter YCBCR image between values and store filtered image to threshold
%matrix (用各个通道的阈值对其进行二值化处理)
%Y_MIN = 0; Y_MAX = 256;
%Cb_MIN = 100; Cb_MAX = 127;
%Cr_MIN = 138; Cr_MAX = 170;
Y_MIN = 0; Y_MAX = 256;
Cb_MIN = 100; Cb_MAX = 127;
Cr_MIN = 138; Cr_MAX = 170;
threshold_left=roicolor(YCBCR_left(:,1),Y_MIN,Y_MAX)&roicolor(YCBCR_left(:,2),Cb_MIN,Cb_MAX)&roicolor(YCBCR_left(:,3),Cr_MIN,Cr_MAX);
threshold_right=roicolor(YCBCR_right(:,1),Y_MIN,Y_MAX)&roicolor(YCBCR_right(:,2),Cb_MIN,Cb_MAX)&roicolor(YCBCR_right(:,3),Cr_MIN,Cr_MAX);

%perform morphological operations on thresholded image to eliminate noise
%and emphasize the filtered object(s) (进行形态学处理：腐蚀、膨胀、孔洞填充)
erodeElement = strel('square', 2);
dilateElement=strel('square', 2); %控制膨胀情况
threshold_left = imerode(threshold_left,erodeElement);
%threshold_left = imerode(threshold_left,erodeElement);
threshold_left=imdilate(threshold_left, dilateElement);
%threshold_left=imdilate(threshold_left, dilateElement);
threshold_left=imfill(threshold_left,'holes');
%获取区域的'basic'属性, 'Area', 'Centroid', and 'BoundingBox'
stats_left = regionprops(threshold_left, 'basic');
row_left=[stats_left.Centroid];
```

```

length_left=size(row_left,2)/2;
Centroid_array1=reshape(row_left,2,length_left);
[maxNum1,max_index1]=max(Centroid_array1(2,:));
nail_locate_left=Centroid_array1(:,max_index1)';

threshold_right = imerode(threshold_right,erodeElement);
%threshold_right = imerode(threshold_right,erodeElement);
threshold_right=imdilate(threshold_right, dilateElement);
%threshold_right=imdilate(threshold_right, dilateElement);
threshold_right=imfill(threshold_right,'holes');
stats_right = regionprops(threshold_right, 'basic');
row_right=[stats_right.Centroid];
length_right=size(row_right,2)/2;
Centroid_array2=reshape(row_right,2,length_right);
[maxNum2,max_index2]=max(Centroid_array2(2,:));
nail_locate_right=Centroid_array2(:,max_index2)';

point3d = triangulate(nail_locate_left, nail_locate_right, stereoParams);

```

附录 3

```
distance=zeros(600,1);
t=(0:0.1:59.9)';
for i=1:600
    starttime=clock;
    frame_left = getsnapshot(obj_left);
    frame_right = getsnapshot(obj_right);
    %formatSpec1='frame_right_%3d.jpg';
    %formatSpec2='frame_left_%3d.jpg';
    %imagename1=sprintf(formatSpec1,i);
    %imagename2=sprintf(formatSpec2,i);
    %imwrite(frame_right,imagename2,'jpg');
    %imwrite(frame_left,imagename1,'jpg');
    YCBCR_left = rgb2ycbcr(frame_left);
    YCBCR_right = rgb2ycbcr(frame_right);
    Y_MIN = 0;   Y_MAX = 256;
    Cb_MIN = 100;   Cb_MAX = 127;
    Cr_MIN = 138;   Cr_MAX = 170;

    threshold_left=roicolor(YCBCR_left(:,1),Y_MIN,Y_MAX)&roicolor(YCBCR_left(:,2),Cb_MIN,Cb_MAX)&roicolor(YCBCR_left(:,3),Cr_MIN,Cr_MAX);

    threshold_right=roicolor(YCBCR_right(:,1),Y_MIN,Y_MAX)&roicolor(YCBCR_right(:,2),Cb_MIN,Cb_MAX)&roicolor(YCBCR_right(:,3),Cr_MIN,Cr_MAX);

    erodeElement = strel('square',2) ;
    dilateElement=strel('square',2) ; %控制膨胀情况 4,2
    threshold_left = imerode(threshold_left,erodeElement);
    %threshold_left = imerode(threshold_left,erodeElement);
    threshold_left=imdilate(threshold_left, dilateElement);
    %threshold_left=imdilate(threshold_left, dilateElement);
    threshold_left=imfill(threshold_left,'holes');
    stats_left = regionprops(threshold_left, 'basic');
    row_left=[stats_left.Centroid];
    length_left=size(row_left,2)/2;
    Centroid_array1=reshape(row_left,2,length_left);
    [maxNum1,max_index1]=max(Centroid_array1(2,:));
    nail_locate_left_trans=Centroid_array1(:,max_index1)';

    threshold_right = imerode(threshold_right,erodeElement);
    %threshold_right = imerode(threshold_right,erodeElement);
    threshold_right=imdilate(threshold_right, dilateElement);
    %threshold_right=imdilate(threshold_right, dilateElement);
    threshold_right=imfill(threshold_right,'holes');
```

```

stats_right = regionprops(threshold_right, 'basic');
row_right=[stats_right.Centroid];
length_right=size(row_right,2)/2;
Centroid_array2=reshape(row_right,2,length_right);
[maxNum2,max_index2]=max(Centroid_array2(2,:));
nail_locate_right_trans=Centroid_array2(:,max_index2)';

%calculate the distance and plot the figure
point3d_trans= triangulate(nail_locate_left_trans, nail_locate_right_trans, stereoParams);
distance(i,1)=(point3d_trans(1,1)-point3d(1,1))/1000;
%distance(i,1)=norm(point3d_trans-point3d)/1000;
if distance(i,1)>0.15
    distance(i,1)=distance(i-1,1);
end
plot(t,distance);
axis([0,60,-0.2,0.2]);
xlabel('时间/s');
ylabel('位移/m');
plottime=clock;
while etime(plottime,starttime)<0.1
    pause(0.001);
    plottime=clock;
end
end
end

```

附录 4

```
function sigDEN = func_denoise_dw1d(SIG)
% FUNC_DENOISE_DW1D Saved Denoising Process.
%   SIG: vector of data
%   -----
%   sigDEN: vector of denoised data

%   Auto-generated by Wavelet Toolbox on 10-Aug-2016 21:31:45

% Analysis parameters.
%-----
wname = 'sym2';
level = 2;

% Denoising parameters.
%-----
% meth = 'sqtwolog';
% scal_or_alfa = mln;
sorrh = 's';    % Specified soft or hard thresholding
thrSettings = [...
    0.002417265468273 ; ...
    0.006609068161943    ...
    ];

% Denoise using CMDDENOISE.
%-----
sigDEN = cmddenoise(SIG,wname,level,sorrh,NaN,thrSettings);
```