

基于机器视觉的图像测量系统 的设计与实现

肖洒



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

目录

CONTENTS

01 课题研究意义与主要工作

02 整体研究思路

03 单目视觉的平面测量方法

04 双目视觉的三维测量方法

05 图像测量系统软件的实现

06 未来展望



01

研究意义与主要工作



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

01 研究意义与主要工作

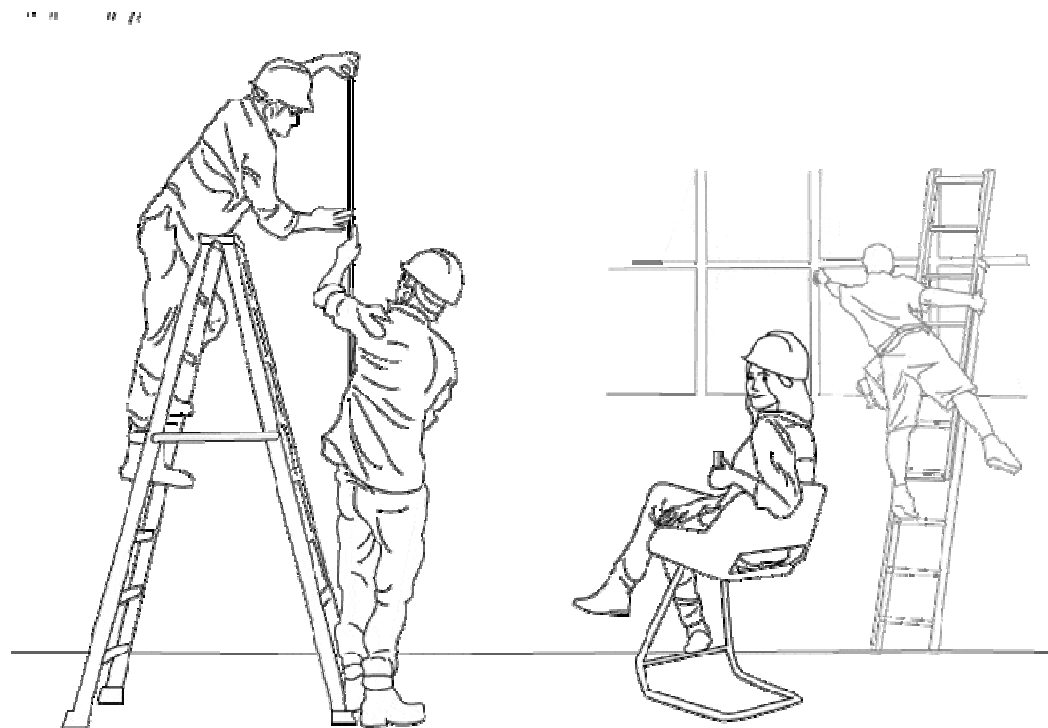


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

01 研究意义

计算机技术和信号处理理论得到不断的发展，衍生出许多新的研究方向，机器视觉就是其中之一，机器视觉是研究图像信号与自动化控制领域的技术。将机器视觉应用在空间几何尺寸的测量上，就形成了图像测量的概念。

- 传统的物体尺寸测量方法繁琐复杂
- 图像测量技术作为新的非接触方法显现出独特的优越性
- 设备要求低、操作简单，测量效率高
- ...



01 研究意义与主要工作

02 研究现状

图像测量技术的研
究现状

1. V-STARS系统
2. 线阵电荷耦合器件(CCD)
3. 火星探测器
4. 无人机对双目视觉测量



03 存在的问题

图像测量技术、通用的视觉系统存在的问题

1. 图像对景物的约束不够
2. 图像的多因素综合影响
3. 测量场景规模和复杂度不尽相同
4. 专业的图像测量设备昂贵、复杂
5. 对计算机的计算性能要求高
6. 操作步骤较为复杂和专业

解决办法



机器视觉

01 研究意义与主要工作

04 主要工作

A 图像测量系统框架设计

结合图像测量发展现状，对图像测量系统的用户需求进行了详细的分析。设计了基于单目视觉的平面测量方法和基于双目视觉的三维测量两大功能模块。

C 基于双目视觉的三维测量

介绍了相机标定的原理，设计了可变基线距的双目拍照方式。提出了改进的关键点选取方法。根据软件的使用特性，采用了人工选点的方法，实现了从两幅图像中能够快速精准匹配待测量的关键点，完成测量工作。

B 基于单目视觉的平面测量

对图像倾斜畸变问题进行了研究。研究了传统图像矫正的图像处理过程，根据研究目标给出了矫正图像倾斜畸变通用的方法。设计了基于参照物的图像测量。设计了Hough变换圆的检测标定。根据像素/尺度比率计算得出图像中两点的测量距离。

D 图像测量系统的软件实现

根据前期对图像测量原理的了解和测量算法的验证，设计了图像测量系统。该系统是基于Python的Tkinter，使用了OpenCV库。对软件的界面、操作等各项功能进行了展示。

02

整体研究思路



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

02 整体研究思路



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

01 整体思路

- 传统测量方式的局限性
- 专业测量设备操作复杂且昂贵
- 自动化程度低

需求分析

框架设计

- 设计了改进的图像倾斜矫正策略
- 使用Hough变换圆检测对测量图像进行尺度标定
- 更为自动化的完成图像的平面测量

单目测量

双目测量

- 对图像测量算法的验证
- 使用Python的Tkinter设计了图像测量系统

软件实现

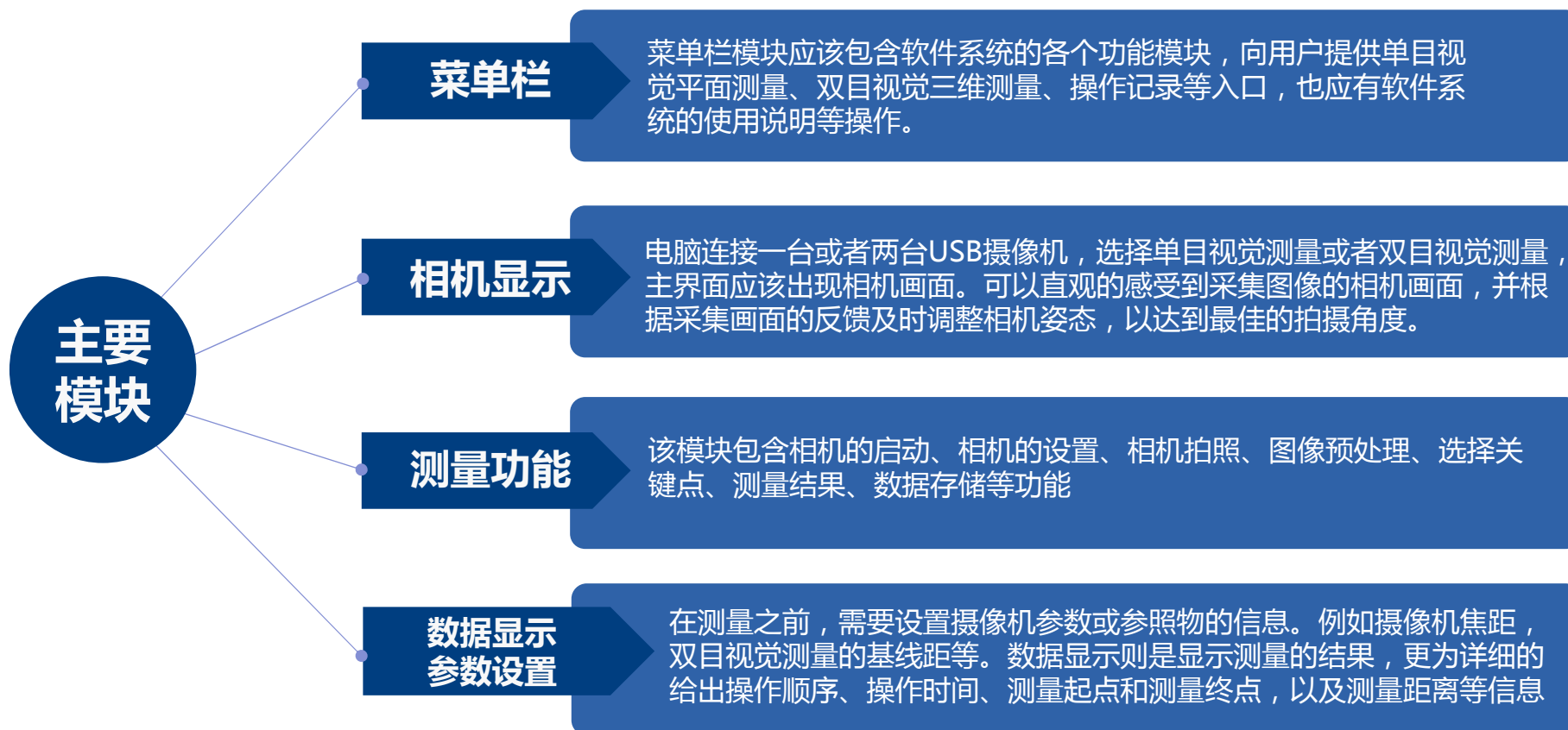
- 菜单栏模块
- 相机画面显示模块
- 图像测量功能模块
- 测量数据显示、测量参数设置模块

- 设计了简单且快速的相机标定方法
- 双目拍照算法关键点选取方法和三维测量算法



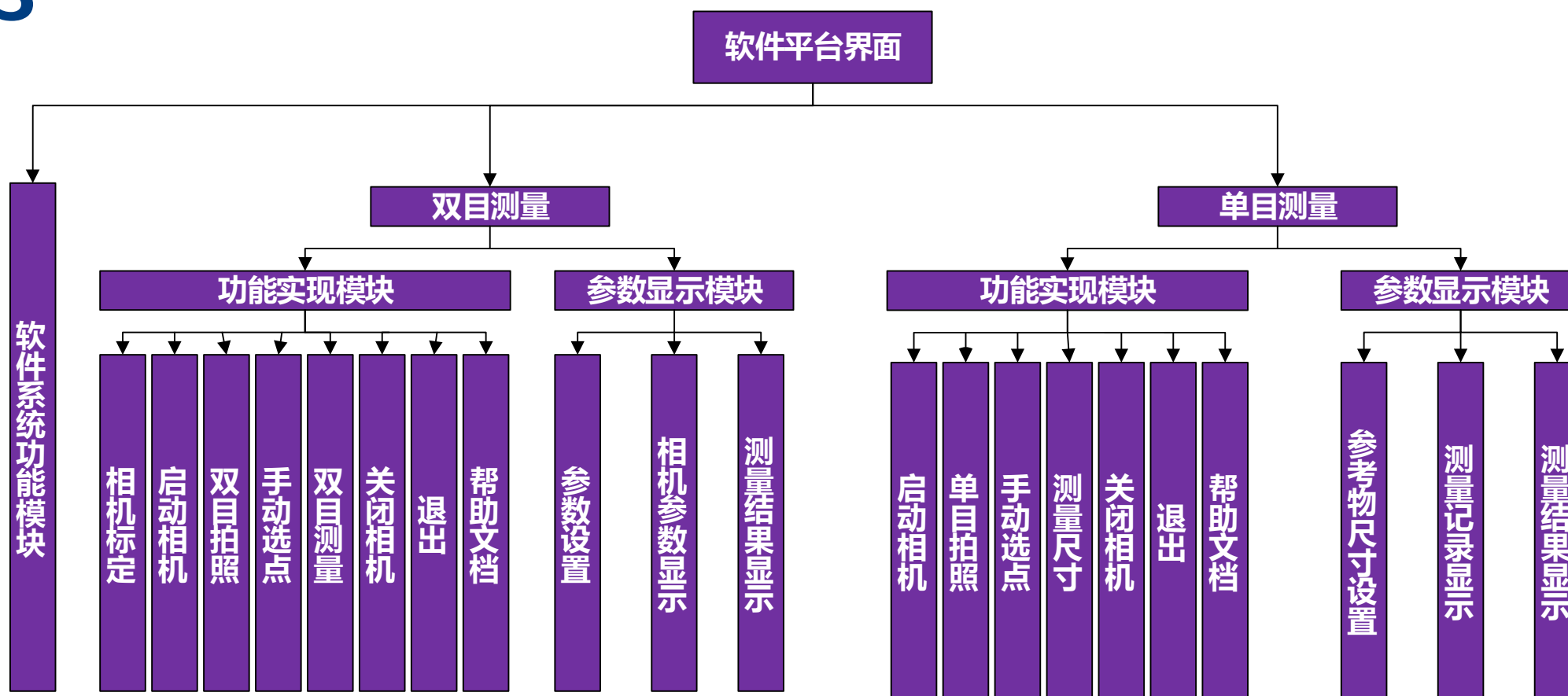
02

系统主要模块





03 系统架构设计



03

单目视觉的平面测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

03 单目视觉的平面测量方法

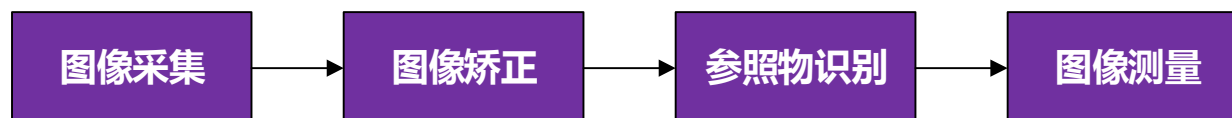


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

01

算法概要

单目视觉测量流程图



单目视觉测量原理

通过单摄像机对场景进行图像采集，通过场景已知信息和图像测量技术对场景内的物体进行尺寸测量。



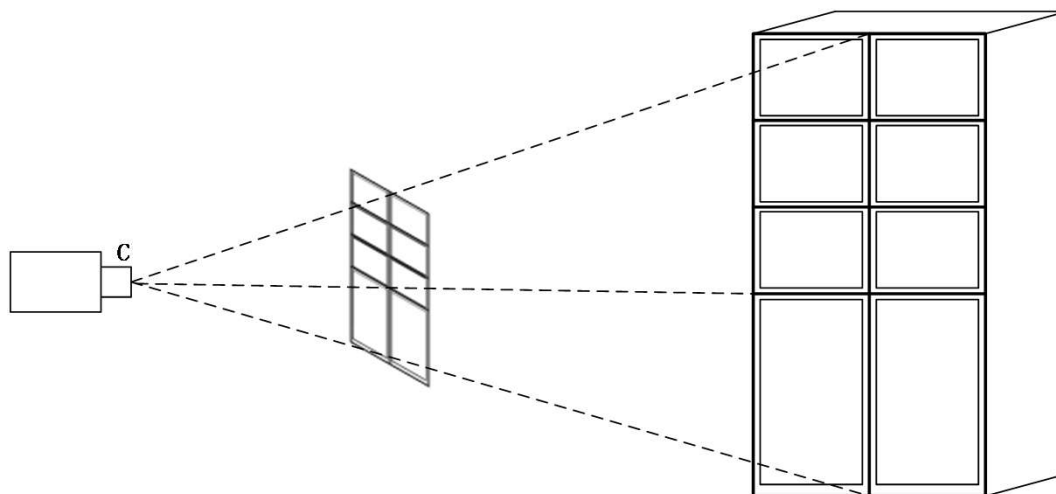
03 单目视觉的平面测量方法



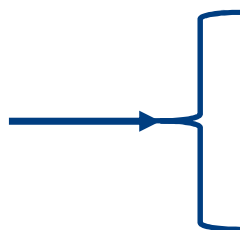
西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

02 图像倾斜畸变

透镜投影
失真问题



图像倾斜
畸变类型



- 1. 平面倾斜
- 2. Z轴倾斜

解决办法

- 旋转
- 矫正后再旋转



03 单目视觉的平面测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

03 图像倾斜矫正-传统矫正方法

边缘检测-Canny算子

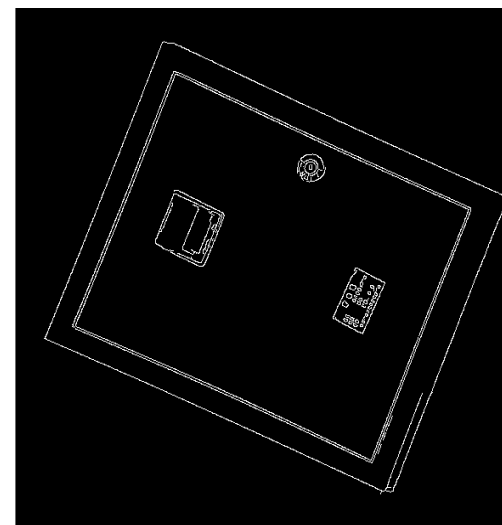
同时满足即能抑制噪声又可以精确定位边缘的要求。



原始图像



高斯滤波图像



Canny检测二值化图像

03 单目视觉的平面测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

03 图像倾斜矫正-传统矫正方法

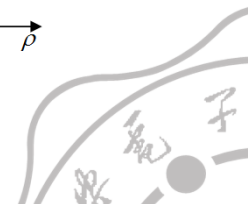
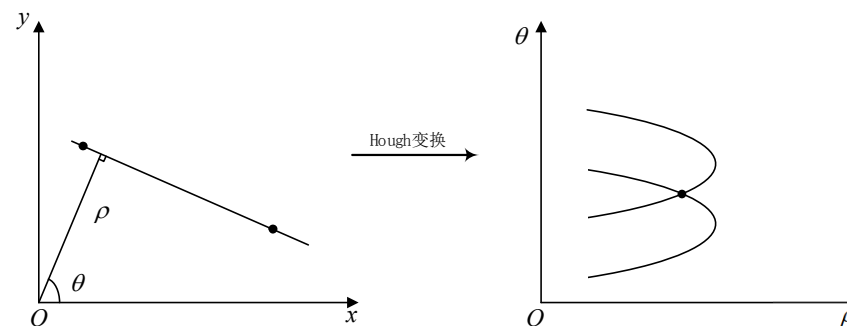
Hough变换法

Hough变换是一种经典、有效检测直线间断点的方法。Hough变换可以检测到已知形状的目标。Hough变换可以较好的解决边缘点不连续和噪声等问题。

Hough变换直线检测

假设在直角坐标系内一点的坐标为 (x,y) ，经过对偶变换在极坐标系 (ρ, θ) 中变成一条曲线：

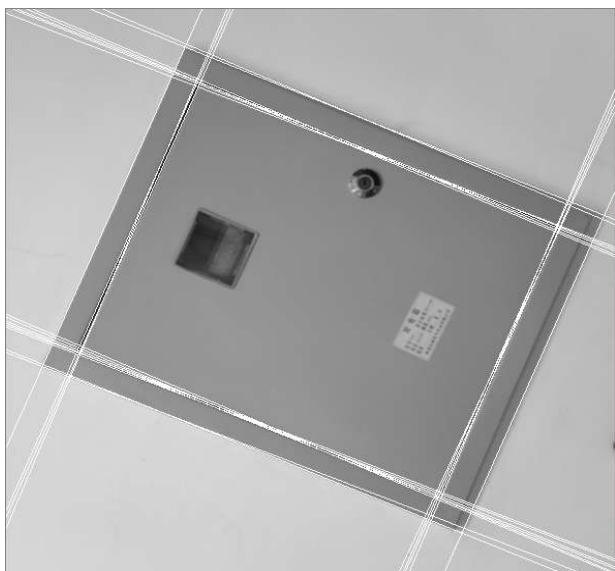
$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$



03 单目视觉的平面测量方法

03 图像倾斜矫正-传统矫正方法

矫正结果



Hough变换直线检测



平面倾斜矫正结果



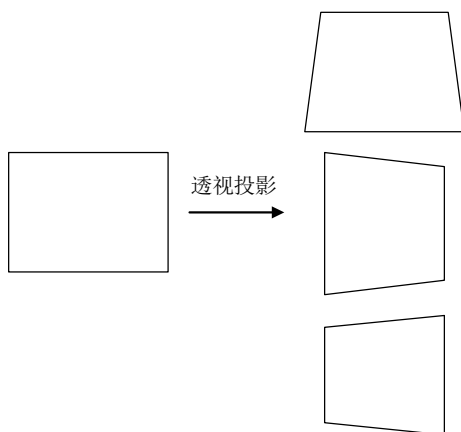
方向矫正结果



03

图像倾斜矫正

透视变换法



透视投影示意图

透视变换可以表示为:

透视变换矩阵:

线性变换:

透视变换:

新视平面的二维坐标为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_3 & b_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} x' = \frac{X}{Z} = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_3x + b_3y + c_3} \\ y' = \frac{Y}{Z} = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{a_3x + b_3y + c_3} \end{cases}$$

03 单目视觉的平面测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

03

图像倾斜矫正

透视变换结果

透视变换可以先使用**OpenCV**库的**getPerspectiveTransform()**函数获得图像的透视矩阵，再用**warpPerspective()**函数进行透视变换。



原始图像



透视变换后的图像



03 单目视觉的平面测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

04 改进的图像矫正策略

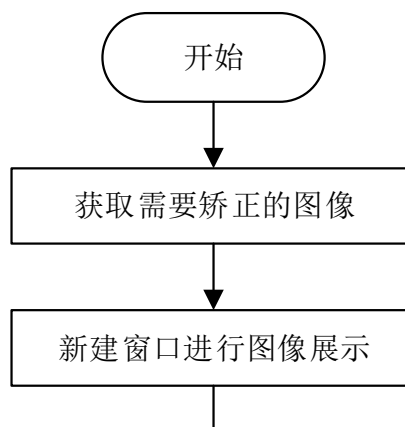
存在的问题

- 复杂场景的图像难以进行目标物边缘检测
- **Z**轴倾斜，需要知道待矫正四边形的**4**个角点

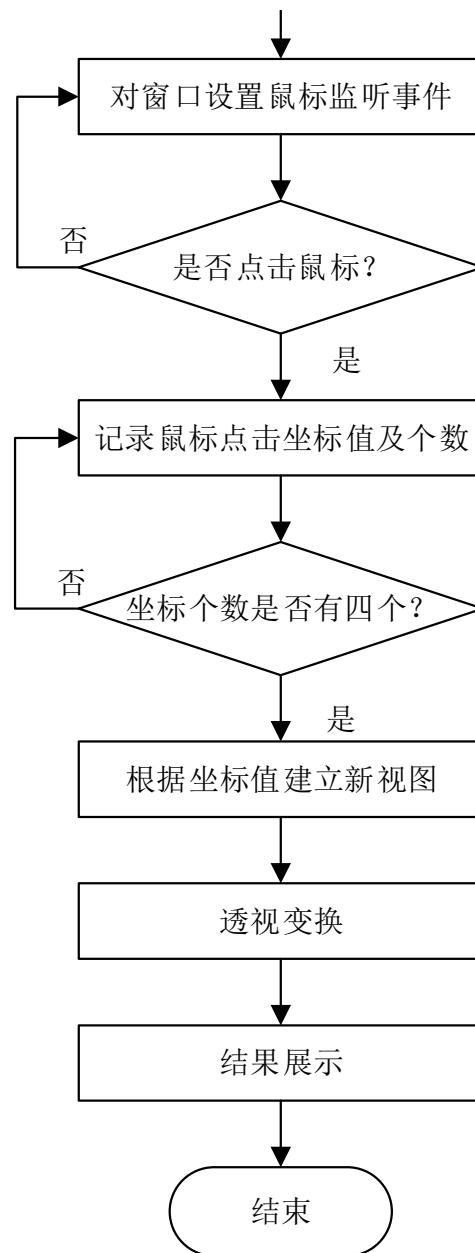
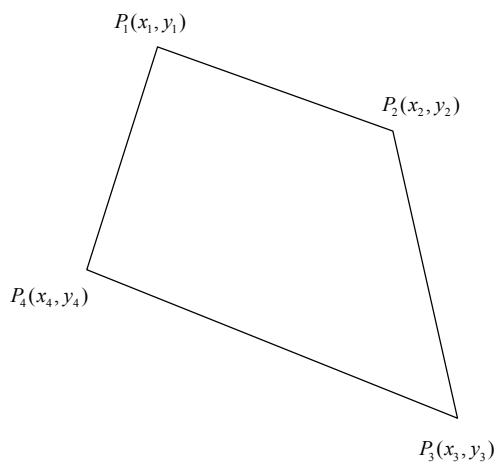
解决方式

- 人工选点和算法计算的结合

改进的图像矫正方法流程图



新视图宽高设置



优点

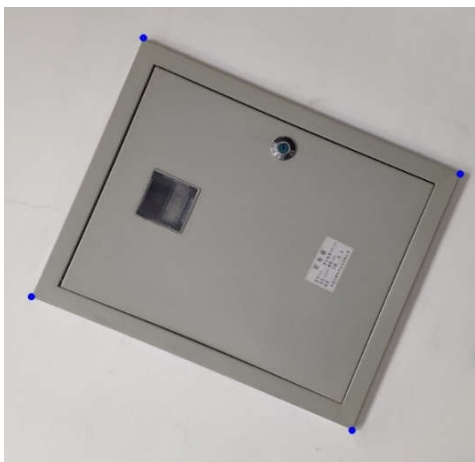
- 提高图像矫正的正确率
- 易操作性

03 单目视觉的平面测量方法

04 改进的图像矫正策略

实验结果与分析

平面倾斜矫正

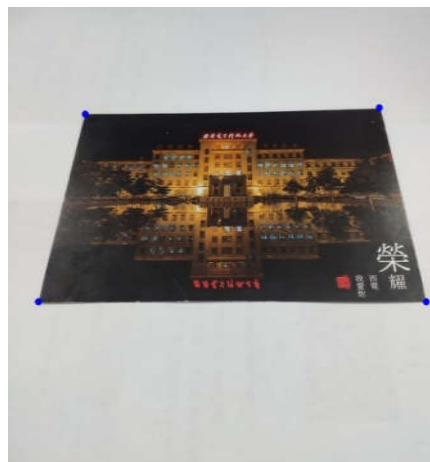


矫正区域选点



矫正后的图像

Z轴倾斜矫正



矫正区域选点



矫正后的图像

03 单目视觉的平面测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

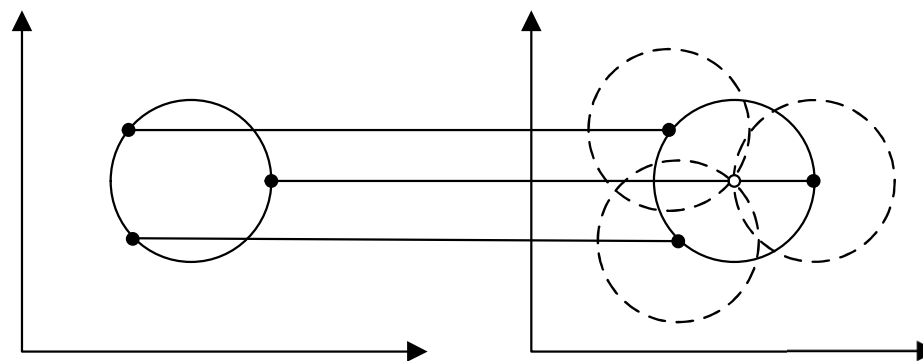
05 参照物识别与标定

Hough变换圆检测

直角坐标系中标准圆形可以表示为：

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

圆的Hough变换就是将直角坐标系X-Y上的圆转换到(a,b,r)三维参数空间。检测原理是根据圆周上任意3个点确定的圆，寻找其经过Hough变换后在参数空间对应的点。



Hough变换圆检测示意图



03 单目视觉的平面测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

05 参照物识别与标定

实验结果与分析

实验步骤如下：

- ① 对发生Z轴倾斜的图像进行透视变换矫正；
- ② 使用medianBlur()函数，对图像进行中值滤波；
- ③ 使用HoughCircles()函数，设置合适的参数进行圆形检测；
- ④ 绘制外部圆轮廓，标注圆心，得到圆心坐标和圆像素半径 r' 。



原始图像



矫正后的图像



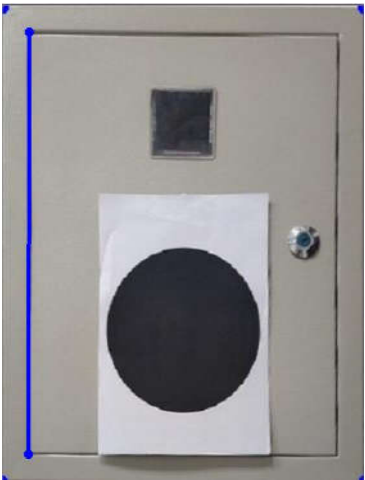
中值滤波后图像



Hough圆检测结果

06

测量算法验证



竖直方向测量



横向方向测量



对角方向测量

基于Hough圆检测单目视觉测量结果表					
r' (pixel)	r (cm)	待测量两点坐标	测量结果(cm)	实际尺寸(cm)	误差
94	9.9	竖直：(31,31) , (30,513)	45.8	47.5	3.58%
		横向：(32,31) , (412,34)	36.1	37.4	3.48%
		对角：(32,31) , (409,516)	58.3	60.4	3.48%

06 测量算法验证

已知参照物尺度标定



竖直方向测量



对角方向测量

基于手动尺度标定单目视觉测量结果表					
L (cm)	参照物两点坐标	待测量两点坐标	测量结果(cm)	实际尺寸(cm)	误差
37.5	(18,256) , (203,257)	竖直 : (18,16) , (18,257)	49	47.5	3.15%
37.5	(17,256) , (203,257)	对角 : (19,16) , (205,258)	62	60.4	2.65%

04

双目视觉的三维测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

04 双目视觉的三维测量方法

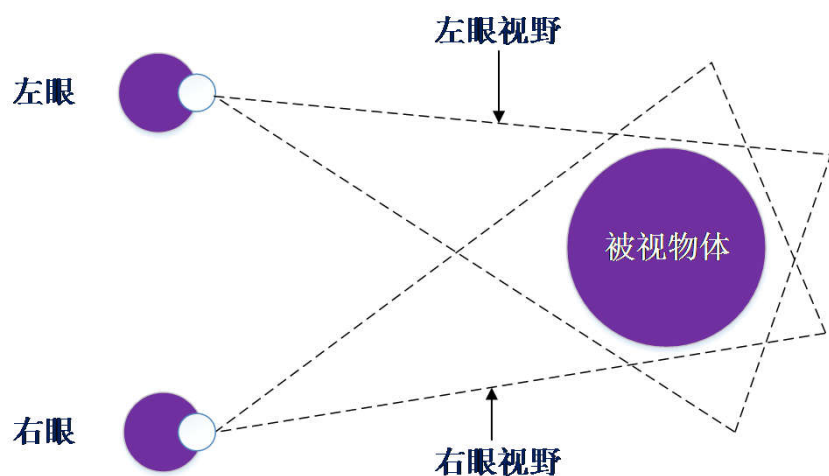


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

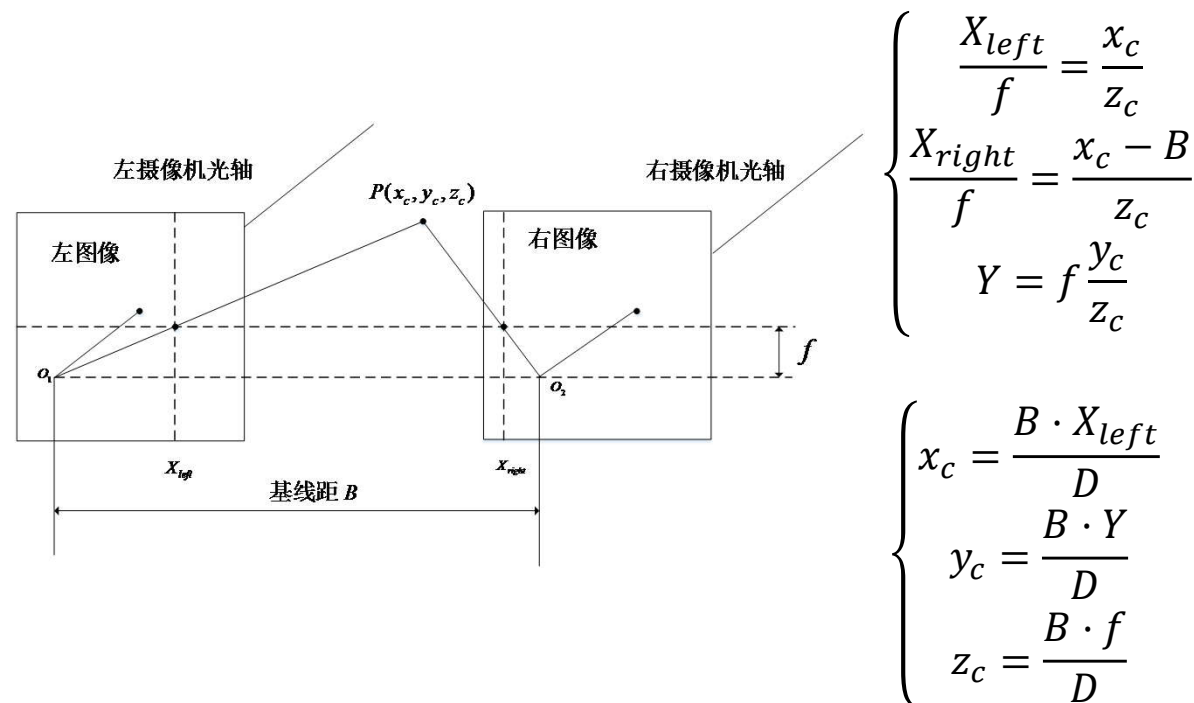
01

算法概要

人类双眼模型示意图



平行双目立体视觉成像原理示意图



04 双目视觉的三维测量方法

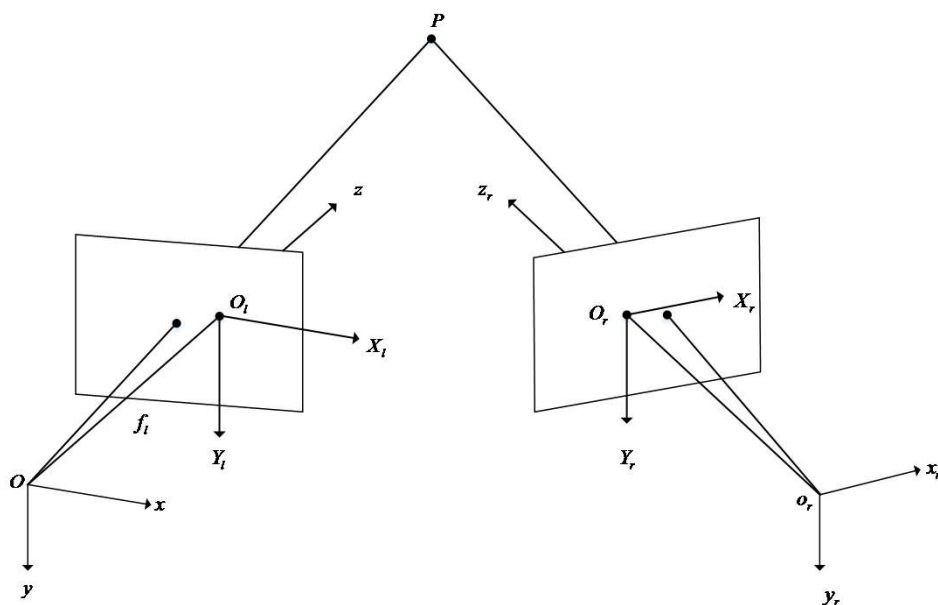


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

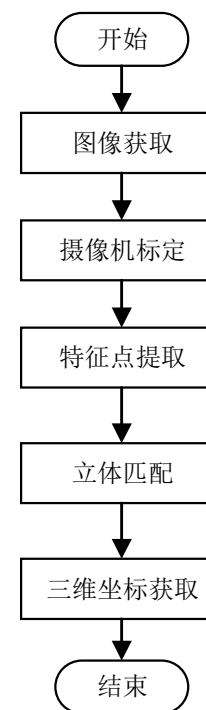
01

算法概要

一般情况下的双目立体视觉成像原理



双目立体视觉测量流程



04 双目视觉的三维测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

02 双目图像三维测量方法

相机标定

参数	表达式
透视变换	$A = \begin{bmatrix} \alpha_x & \gamma & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
径向畸变、切向畸变	k_1, k_2, k_3, p_1, p_2
外部参数	$R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$

相机参数

内部参数

焦距
径向畸变
切向畸变

外部参数

旋转矩阵
平移矩阵

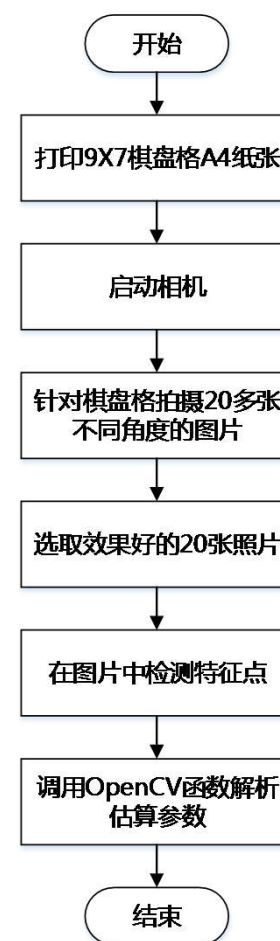
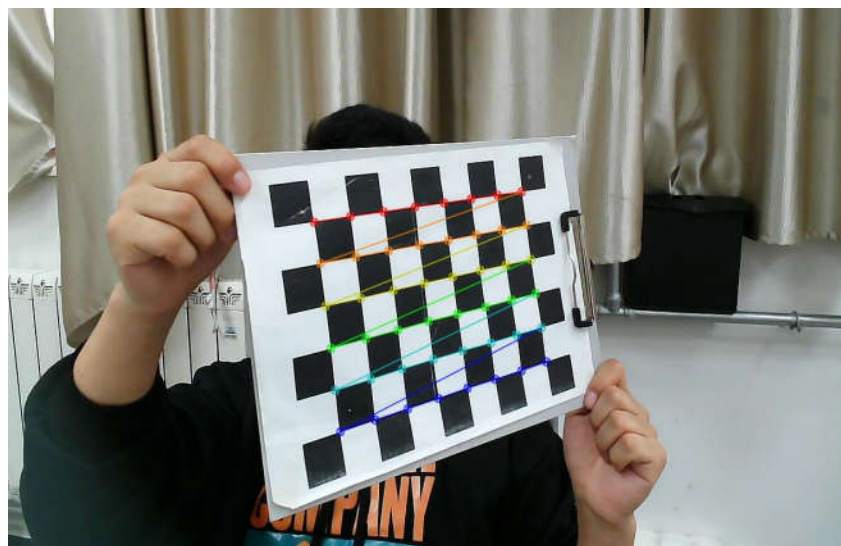
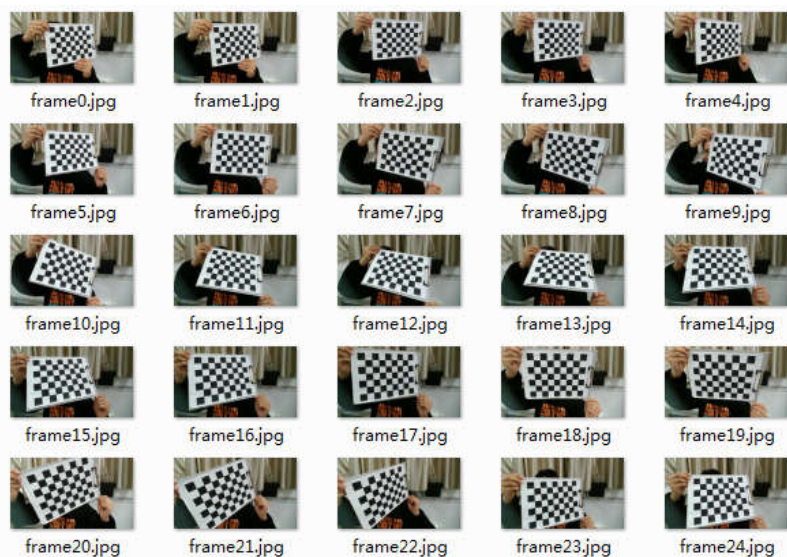
摄像机的标定过程就是确定图像像素的位置与真实场景点位置间的关系。



04 双目视觉的三维测量方法

02 双目图像三维测量方法-相机标定

相机标定



04 双目视觉的三维测量方法

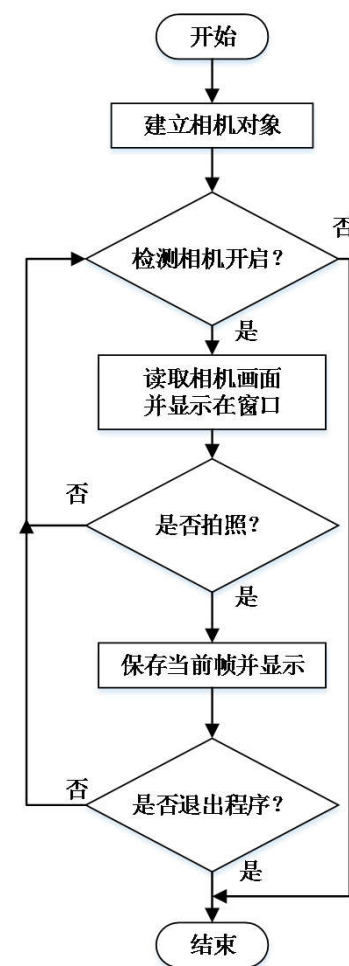
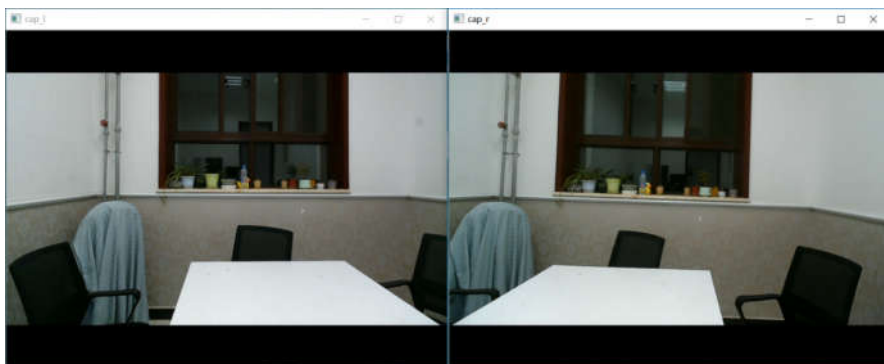


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

03

双目图像三维测量方法

双目拍照



04 双目视觉的三维测量方法

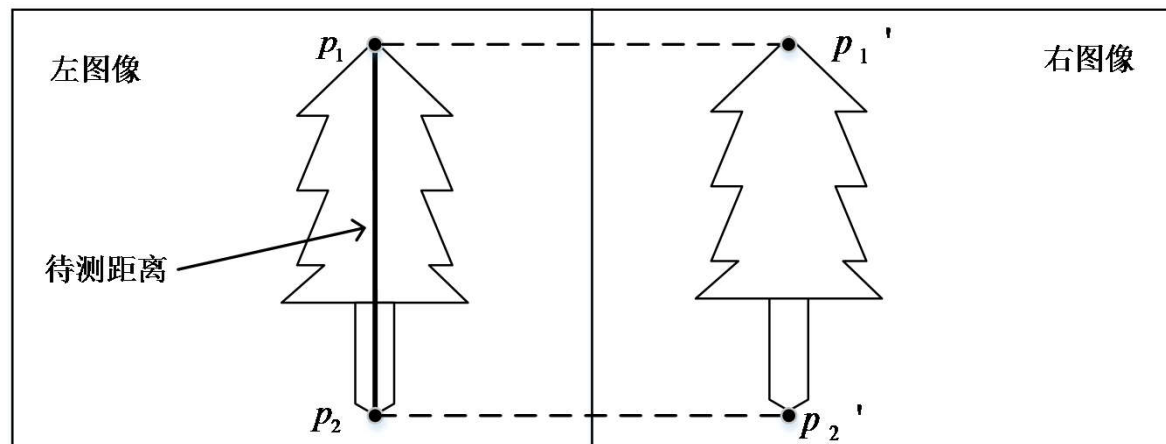


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

04

双目图像三维测量方法

关键点选取方法



人工选择匹配点示意图

人为的介入反而更能正确指导匹配。原因如下：

(1) 方法简单方便。双目图像测量系统中，只需要知道两点之间的距离，故而只用在源图像和另一幅图像中各选两对点进行匹配；

(2) 提高匹配效率。该方法不需要做到区域匹配或者全局匹配，减少了大量的计算量，对处理匹配的设备性能要求降低；

(3) 匹配精度高。因为是人工选取特征点，人利用鼠标在图像上选取对应的特征点，利用人脑对图像的敏感性，可以保证特征点的匹配精度。

04 双目视觉的三维测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

04

双目图像三维测量方法

关键点选取方法



双目摄像机采集到的左右图像



左右图像拼接后的图像



选点后的图像



04 双目视觉的三维测量方法



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

04

双目图像三维测量方法

三维测量方法

所需参数

焦距

基线距

左右图像两点坐标

参数	表达式
焦距	f
基线距	B
左图像两点坐标	$(X_{1_{left}}, Y_{1_{left}}), (X_{2_{left}}, Y_{2_{left}})$
右图像两点坐标	$(X_{1_{right}}, Y_{1_{right}}), (X_{2_{right}}, Y_{2_{right}})$

$$\begin{cases} Y_1 = (Y_{1_{left}} + Y_{1_{right}})/2 \\ Y_2 = (Y_{2_{left}} + Y_{2_{right}})/2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} D_A = |X_{1_{left}} - X_{1_{right}}| \\ D_B = |X_{2_{left}} - X_{2_{right}}| \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_x = B * X_{1_{left}}/D_A \\ A_y = B * Y_1/D_A \\ A_z = B * f/D_A \end{cases}, \begin{cases} B_x = B * X_{2_{left}}/D_B \\ B_y = B * Y_2/D_B \\ B_z = B * f/D_B \end{cases}$$

04 双目视觉的三维测量方法

04 双目图像三维测量方法

测量结果



参数名	参数值
焦距	783.37(pixel)
基线距	2100(mm)
左图像两点坐标	(166,214)、(666,212)
右图像两点坐标	(488,212)、(962,218)
测量结果	3.67(m)
实际尺寸	3.75(m)

实验一



参数名	参数值
焦距	783.37(pixel)
基线距	4630(mm)
左图像两点坐标	(354,326)、(746,324)
右图像两点坐标	(626,322)、(1010,324)
测量结果	7.07(m)
实际尺寸	6.50(m)

实验二

04 双目图像三维测量方法

测量结果



参数名	参数值
焦距	783.37(pixel)
基线距	2580(mm)
左图像两点坐标	(434,320)、(434,476)
右图像两点坐标	(662,316)、(660,466)
测量结果	1.78(m)
实际尺寸	1.80(m)

实验三



参数名	参数值
焦距	783.37(pixel)
基线距	2580(mm)
左图像两点坐标	(210,40)、(204,292)
右图像两点坐标	(458,58)、(454,288)
测量结果	2.49(m)
实际尺寸	2.50(m)

实验四

04

双目图像三维测量方法

实验结果分析

左图像两点坐标	右图像两点坐标	基线距(mm)	测量结果(m)	实际尺寸(m)	误差
(698,140)、(702,560)	(994,144)、(1010,538)	2100	3.67	3.75	2.1%
(166,214)、(666,212)	(488,212)、(962,218)	2100	2.75	2.85	3.5%
(354,326)、(746,324)	(626,322)、(1010,324)	4630	7.07	6.50	8.7%
(434,320)、(434,476)	(662,316)、(660,466)	2580	1.78	1.80	1.1%
(210,40)、(204,292)	(458,58)、(454,288)	2580	2.49	2.50	0.4%

05

图像测量系统软件的实现



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

05 图像测量系统软件的实现

软件平台开发参数

开发工具参数	说明
PC操作系统版本	Windows7 (64-bit)
PC处理器	Intel(R) i3-450(3.5GHz)
PC内存	4.0 GB
Python版本	Python 3.5 (64-bit)
JetBrains PyCharm 版本	JetBrains PyCharm(2017.2.2)
OpenCV版本	OpenCV(3.4.5)

01

软件实现平台和选择的相关技术

系统的开发语言是Python，主要使用了Python GUI中的Tkinter库，图像处理主要使用了OpenCV库。开发平台是JetBrains PyCharm。整个系统是基于windows7。

单目测量和双目测量使用的摄像头均是杰锐微通公司的1080P的广角3.6mm镜头和可调节高度的三脚架。摄像头均是USB 5V供电，可直接连接手提电脑进行使用。摄像机拍摄的图像最大分辨率为1920×1080，为了方便显示，在软件实现中将拍摄图像分辨率均调节为1280×720。



02

系统的实现和效果展示

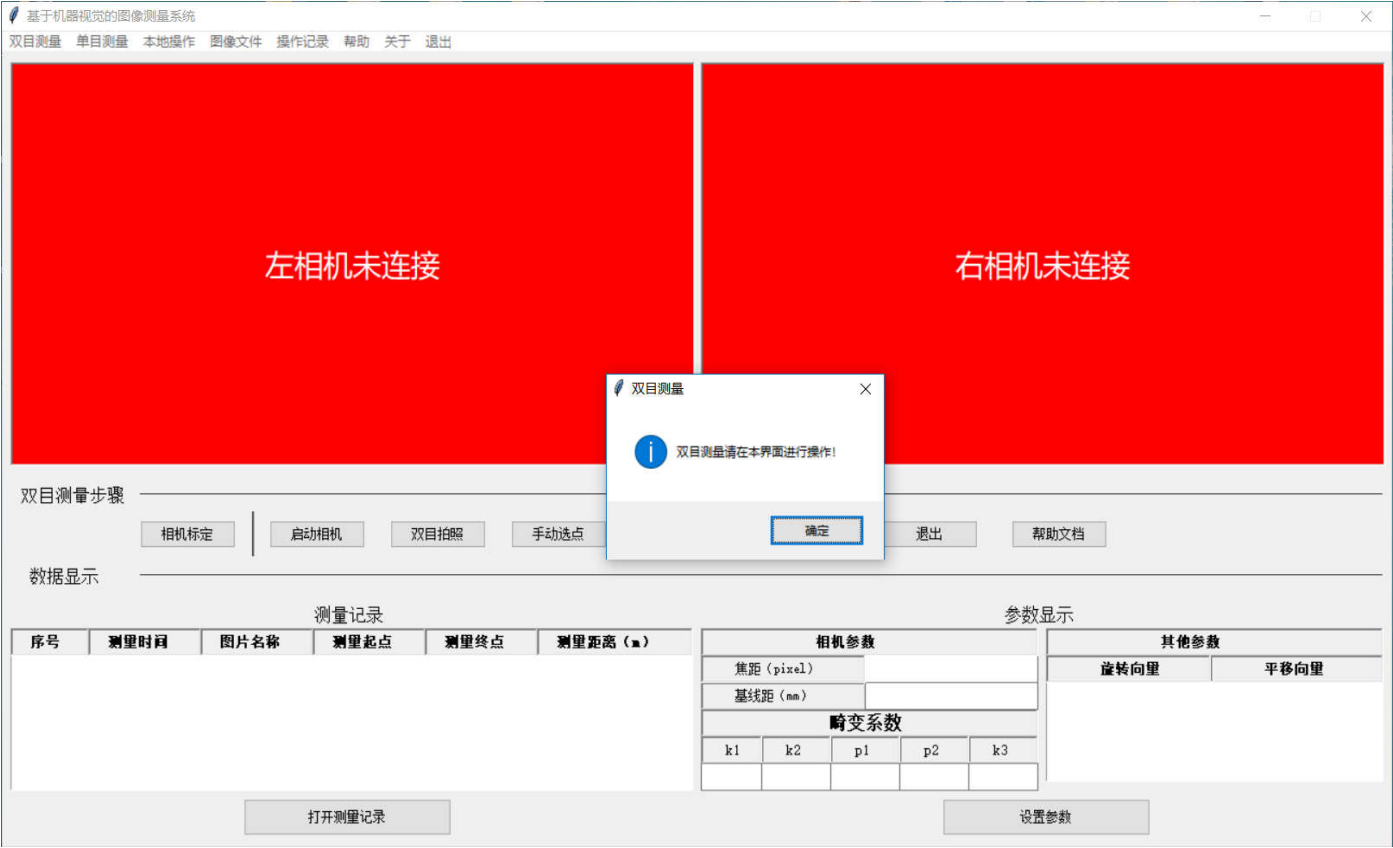


系统的主界面



02

系统的实现和效果展示



双目测量功能



02

系统的实现和效果展示



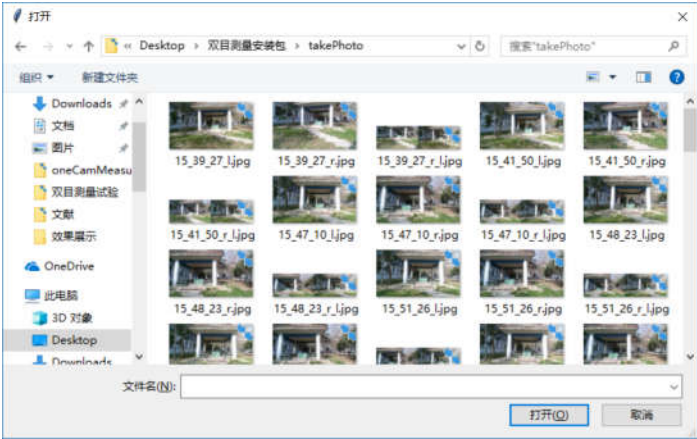
单目测量功能



05 图像测量系统软件的实现

02

系统的实现和效果展示



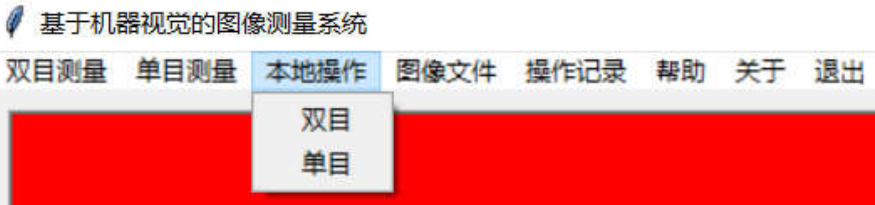
图像文件功能

序号	操作时间	图片名称	测量起点坐标	测量终点坐标	测量距离(m)
1	10:47:06	10_46_35_r_l	(434, 210)	(432, 326)	1.94
2	10:50:09	10_49_21_r_l	(354, 326)	(746, 324)	7.07
3	10:56:27	10_55_54_r_l	(412, 374)	(800, 372)	13.16
4	11:03:18	11_02_53_r_l	(642, 206)	(642, 314)	3.11
5	11:04:07	11_03_43_r_l	(410, 318)	(796, 316)	12.43
6	11:09:46	11_08_55_r_l	(210, 40)	(204, 292)	2.49
7	11:15:04	11_14_16_r_l	(434, 320)	(434, 476)	1.78
8	11:16:35	11_14_16_r_l	(18, 298)	(876, 284)	12.62
9	11:20:29	11_20_02_r_l	(16, 298)	(726, 286)	9.77
10	11:23:39	11_23_08_r_l	(202, 298)	(730, 286)	8.11

操作记录功能



菜单栏模块



本地操作功能

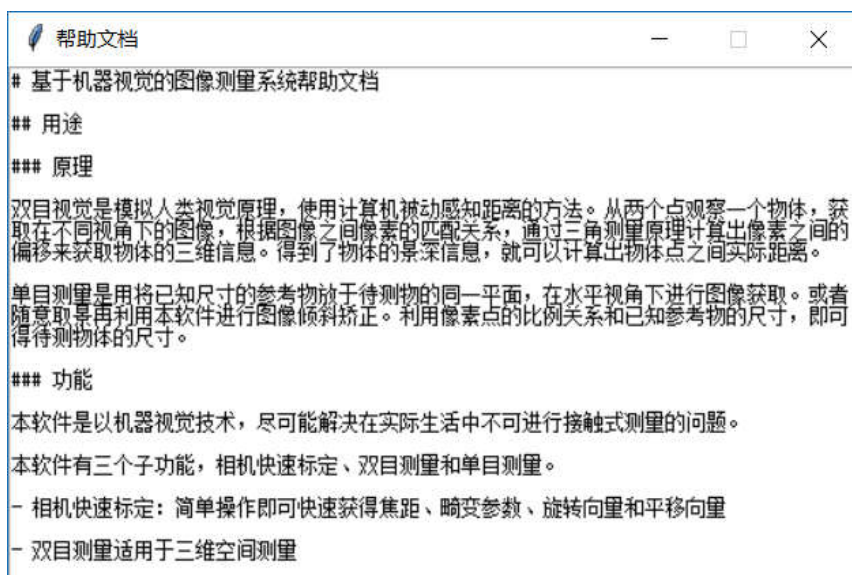
05 图像测量系统软件的实现



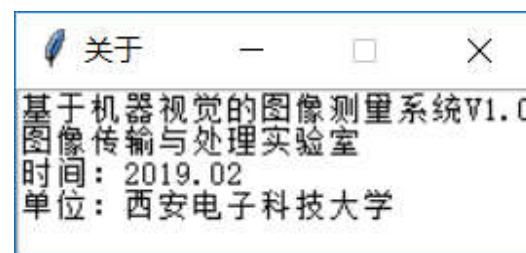
西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

02

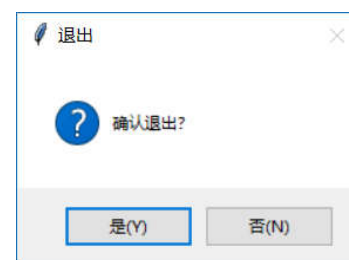
系统的实现和效果展示



帮助文档



软件信息



退出软件



05 图像测量系统软件的实现

02 系统的实现和效果展示



相机画面显示模块



参数设置显示

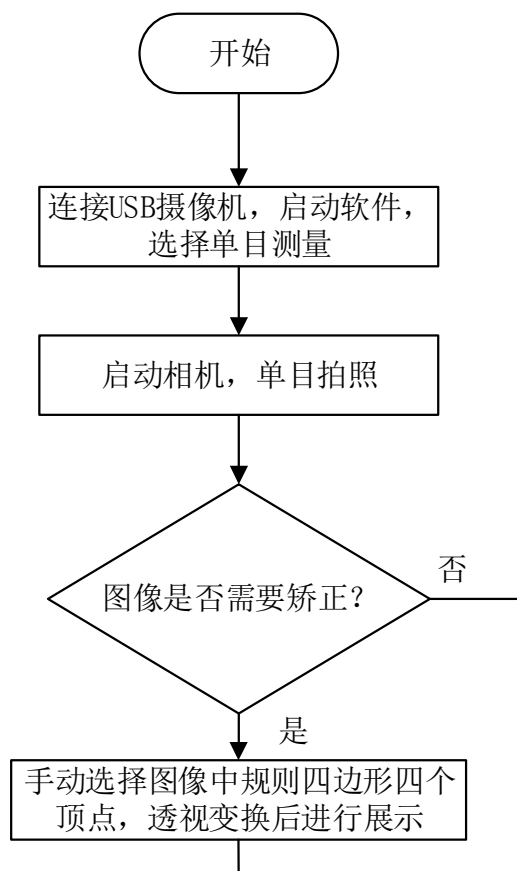
05 图像测量系统软件的实现

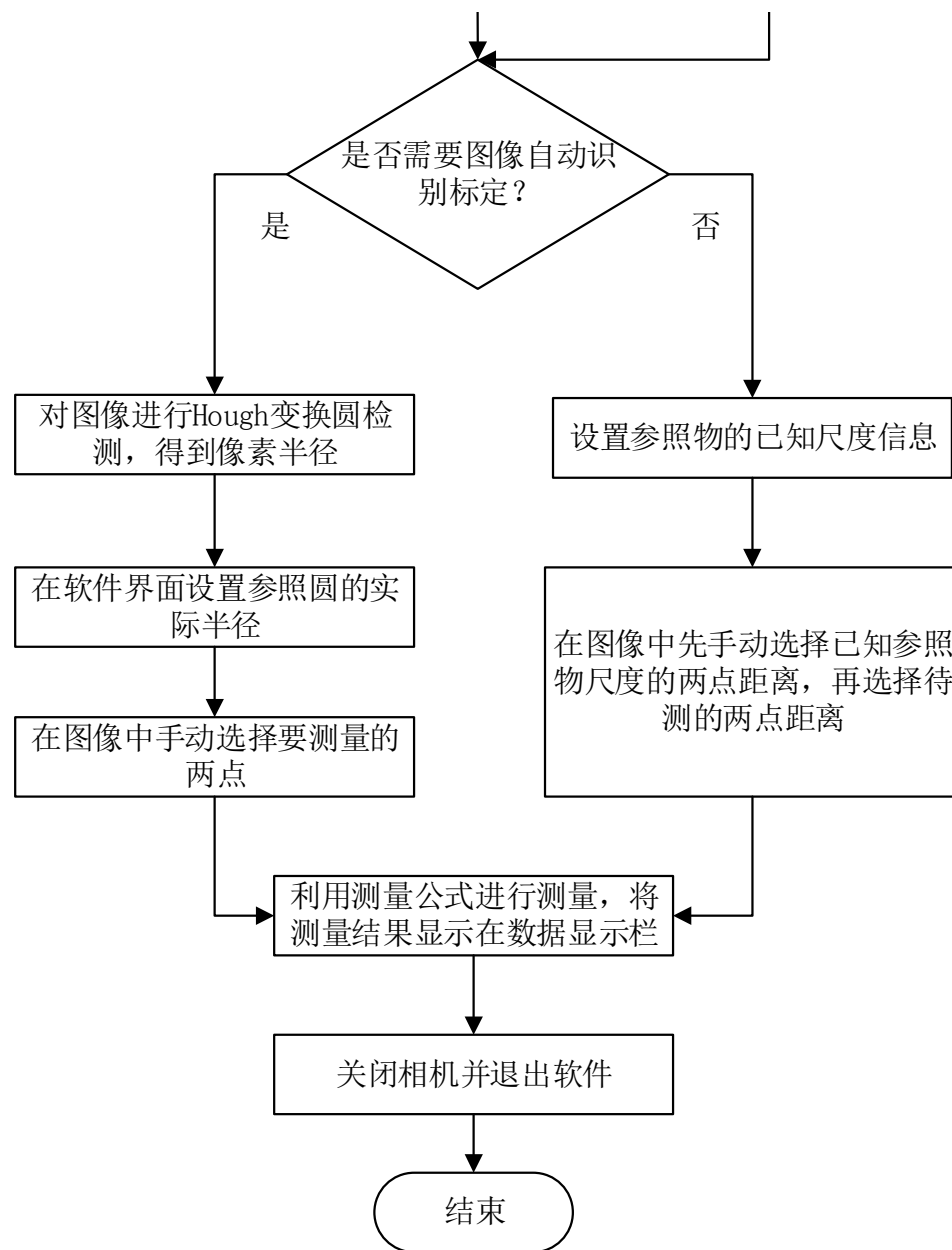


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

03

单目图像测量实现



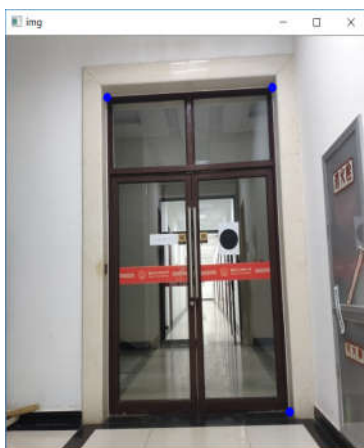


05 图像测量系统软件的实现

03

单目图像测量实现

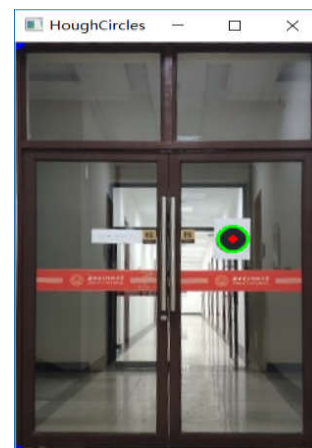
矫正、检测、测量实现



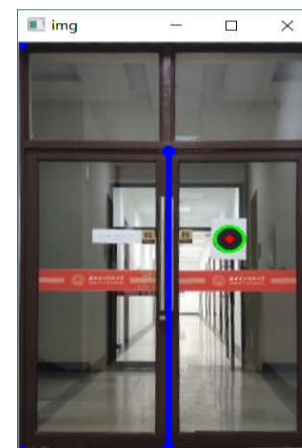
选点进行矫正



矫正结果



Hough变换圆检测



选择待测量的距离

数据显示

测量记录					
序号	测量时间	图片名称	测量起点	测量终点	测量距离 (m)
1	22:36:32	22_36_32_088	(125, 106)	(124, 389)	3.1

打开测量记录

参数显示

参考物尺寸

参考物实际尺寸 (m) 0.91

设置参数



05 图像测量系统软件的实现

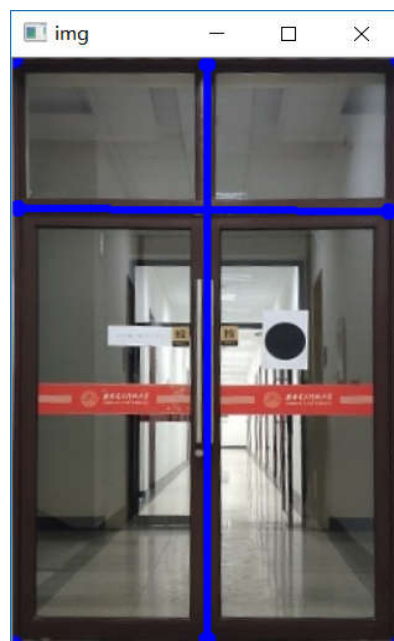
03

单目图像测量实现-已有的参照物

手动标定的实现的效果



矫正后的图像



选择参照两点和待测两点

数据显示

测量记录

序号	测量时间	图片名称	测量起点	测量终点	测量距离 (m)
1	22:30:23	22_30_23_000	(3, 101)	(243, 101)	2.74

打开测量记录

参数显示

参考物尺寸

参考物实际尺寸 (m)

1.71

设置参数

测量结果

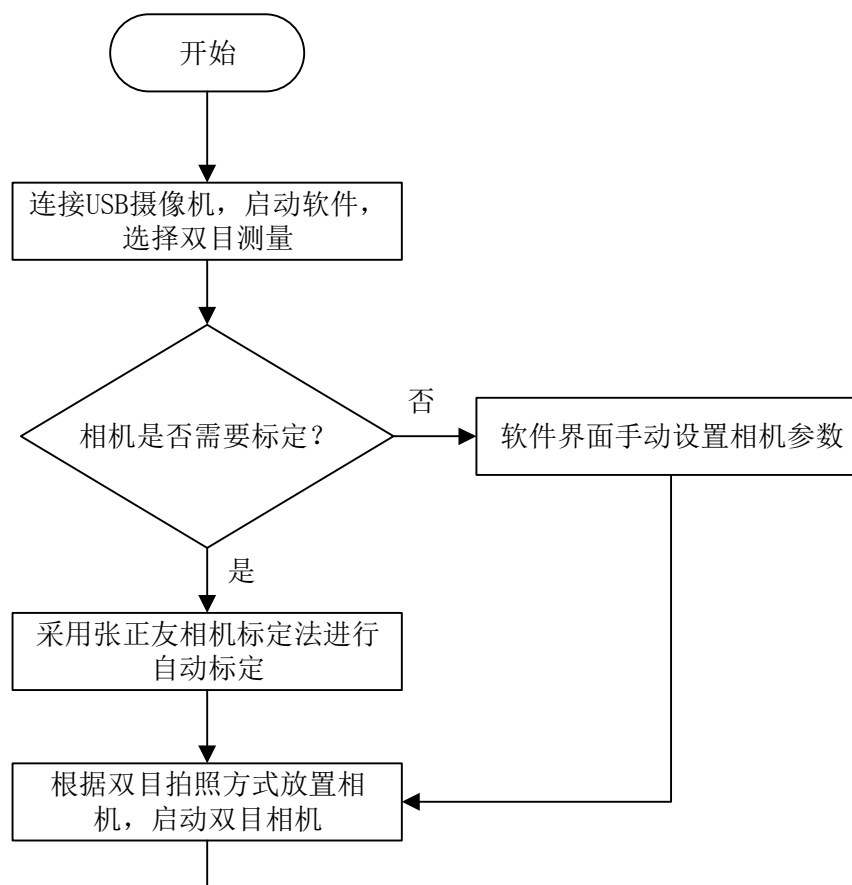
05 图像测量系统软件的实现

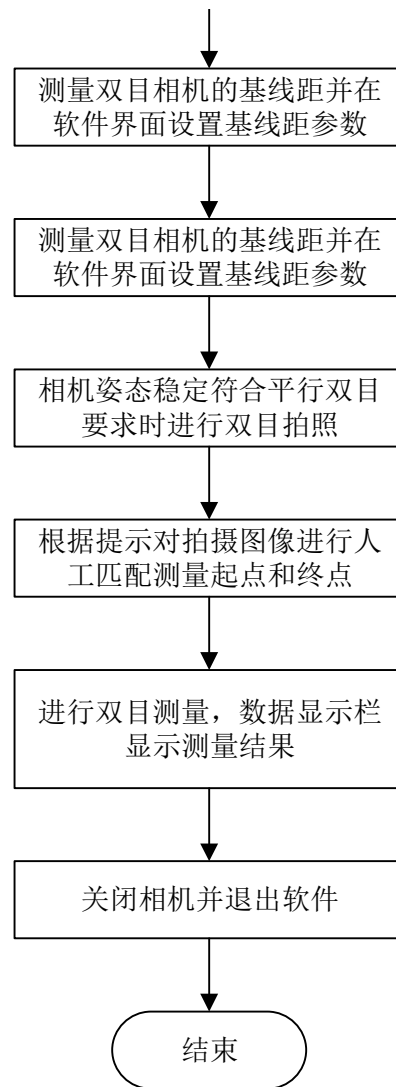


西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

04

双目图像测量实现





05 图像测量系统软件的实现

04 双目图像测量实现

参数显示

相机参数					其他参数	
焦距 (pixel)					旋转向量	平移向量
774.31821					[[0.04130811 -0.03158523 -0.03634633]]	[[-1.75816022 -3.10153637 15.96318149]]
基线距 (mm)						
畸变系数						
k1	k2	p1	p2	k3		
0.0885	-0.0842	0.0036	-0.0546	0.0806	[[0.23187993 -0.05536757] [[-2.42374732 -2.29816733]]	

设置参数

相机标定结果展示



双目测量选点展示

数据显示

测量记录						参数显示	
序号	测量时间	图片名称	测量起点	测量终点	测量距离 (m)	相机参数	其他参数
0	10:50:09	10_49_21_r_1	(354, 326)	(746, 324)	7.07	焦距 (pixel) 774.31821 基线距 (cm) 4630 畸变系数 k1 k2 p1 p2 k3	旋转向量 平移向量

打开测量记录 设置参数

双目测量结果展示



06

未来展望



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

06 未来展望

图像倾斜矫正后新视图的高宽设置

单目视觉图像测量中对于图像倾斜矫正后新视图的高宽设置在某些情况下与实际图像高宽还是有些许误差，微小的误差会间接的导致Hough圆检测的准确度和后续测量的精度。为保证测量精度，可以对新视图高宽设置进行进一步的优化研究。

优化Hough变换圆检测参数设置

对于单目视觉图像测量中的图像自动标定的Hough变换圆检测参数设置还需要优化。现阶段根据参照圆在图像中的大小设置了经验值，后续可以对合理参数的设置做更进一步的研究。

双目拍照的方式

本文采用的是利用两台摄像机进行的可变基线距的平行双目拍照法，对两台摄像机的摆放位置有比较高的要求，需要两台摄像机平行正对待测物，还需要测量两台摄像机之间的基线距，操作过程要求较高，影响测量效率和图像测量的自动化程度。其他学者可在此基础上对双目拍照的方式进一步的研究，优化拍照流程。

选取关键点的方法

文的单目视觉测量和双目视觉测量中矫正点或者测量点都是基于人工手动选点的方式，相比图像匹配算法的计算量大、误匹配率高的缺点，人工选点确实有所改进。但是人工选点的误差也会间接影响测量结果，后续的研究可以对人工选点的方式进行优化，比如多次选点测量取平均值等优化方法。

THE END

谢谢欣赏



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY