



邓程维

码龄3年

暂无认证

16 62万+ 53万+ 8万+  
原创 周排名 总排名 访问 等级

621 54 61 37 477  
积分 粉丝 获赞 评论 收藏



私信

关注

搜博文文章



## 热门文章

相机标定的原理及实现 56682

安装python+opencv+Visual Studio Code教程（比较简单） 6319

全景图像拼接的原理 6303

计算机视觉课程 安装

VSCode+python+opencv环境 3109

全景图像拼接的实现 2747

## 最新评论

计算机视觉课程 安装VSCode+python+o...  
快看，那儿有个哈士奇: 复制到你写的代码那个路径下面

相机标定的原理及实现  
m0\_52546565: 请问

相机标定的原理及实现  
weixin\_45595378: 哈哈哈哈哈，我也觉得我的跑得好慢，请问有研究出来什么优化途径...

图像到图像的映射——图像扭曲（仿射变...  
Starry\_zhangsir: 请问 PCV-master这个项目在哪里下载

相机标定的原理及实现  
皮皮鲁与鲁西西: 如果是不同角度，外参就已经变化了啊

您愿意向朋友推荐“博客详情页”吗？



强烈不推荐



不推荐



一般般



推荐



强烈推荐

## 相机标定的原理及实现

原创

邓程维

2019-04-14 11:16:41

56687

收藏 380

版权

文章标签： 相机标定

本文参考文档：

原理部分：<https://blog.csdn.net/honyniu/article/details/51004397>代码部分：<https://www.cnblogs.com/wildbloom/p/8320351.html>；<https://blog.csdn.net/firemicrocosm/article/details/48594897#>

## 1、相机标定的原理

摄像机标定(Camera calibration)简单来说是从世界坐标系转换为相机坐标系，再由相机坐标系转换为图像坐标系的过程，也就是求最终的投影矩阵P的过程。

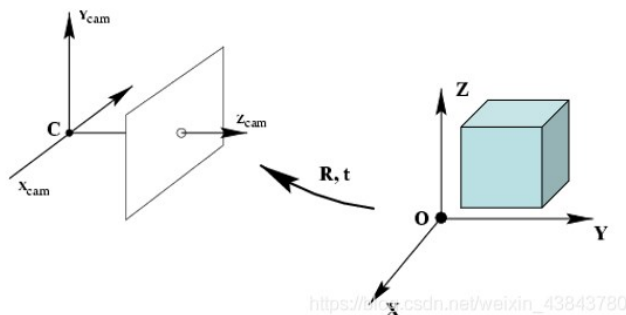
世界坐标系(world coordinate system)：用户定义的三维世界的坐标系，为了描述目标物在真实世界里的位置而被引入。单位为m。

相机坐标系(camera coordinate system)：在相机上建立的坐标系，为了从相机的角度描述物体位置而定义，作为沟通世界坐标系和图像/像素坐标系的中间一环。单位为m。

图像坐标系(image coordinate system)：为了描述成像过程中物体从相机坐标系到图像坐标系的投影透射关系而引入，方便进一步得到像素坐标系下的坐标。单位为m。

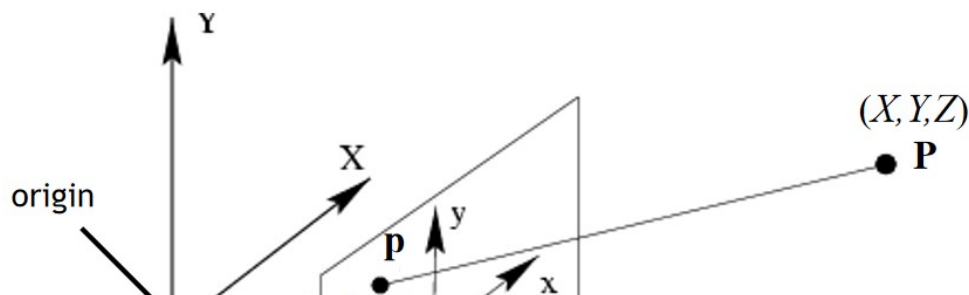
从世界坐标系到相机坐标系：

这一步是三维点到三维点的转换，包括R,t（相机外参）等参数；



相机坐标系转换为图像坐标系：

这一步是三维点到二维点的转换，包括K（相机内参）等参数；



## 目录

## 1、相机标定的原理

## 2、相机标定的实现

## 总结

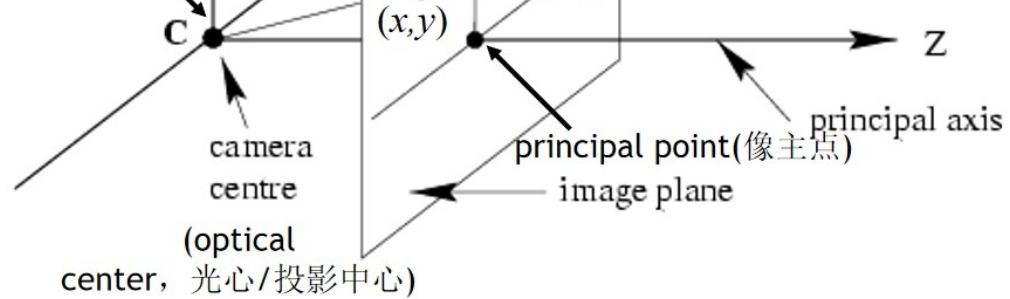
## 最新文章

图像分割

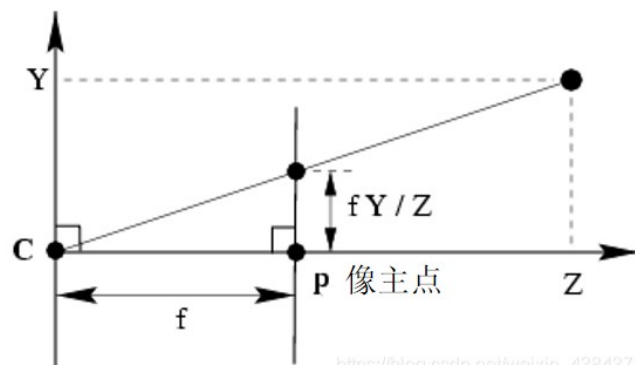
基于letNet模型的mnist手写体识别

图像内容分类

2019年 16篇



[https://blog.csdn.net/weixin\\_43843780](https://blog.csdn.net/weixin_43843780)



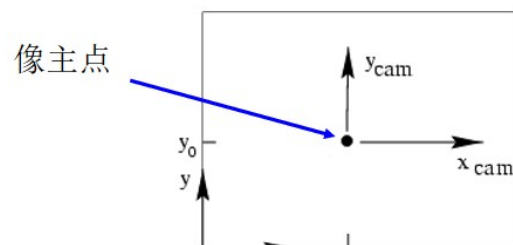
[https://blog.csdn.net/weixin\\_43843780](https://blog.csdn.net/weixin_43843780)

根据上述的关系图可以推导出下面的变换公式：

$$\begin{aligned} x &= \frac{fX}{Z} \\ y &= \frac{fY}{Z} \end{aligned} \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

[https://blog.csdn.net/weixin\\_43843780](https://blog.csdn.net/weixin_43843780)

像主点的偏移：



可以推出：

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & x_0 \\ 0 & f & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

[https://blog.csdn.net/weixin\\_43843780](https://blog.csdn.net/weixin_43843780)

内参矩阵K：

$$\begin{bmatrix} f & 0 & x_0 \\ 0 & f & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

外参矩阵[R | t]：

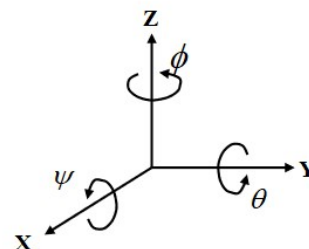
表示三个方向的偏转：

$$\mathbf{x} \sim \mathbf{K} \underbrace{[\mathbf{R} | \mathbf{t}]}_{\text{外参矩阵}} \mathbf{X}$$

$$R = Rot(z, \phi) Rot(y, \theta) Rot(x, \psi)$$

$$= \begin{bmatrix} C\phi & -S\phi & 0 \\ S\phi & C\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\theta & 0 & C\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\psi & -S\psi \\ 0 & S\psi & C\psi \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\phi C\theta & -S\phi S\psi + C\phi S\theta S\psi & C\phi S\theta C\psi + S\phi S\psi \\ S\phi C\theta & C\phi S\theta S\psi + C\phi S\psi & -C\phi S\psi + S\phi S\theta C\psi \\ -S\theta & C\theta S\psi & C\theta C\psi \end{bmatrix}$$



[https://blog.csdn.net/weixin\\_43843780](https://blog.csdn.net/weixin_43843780)

投影矩阵P

(在这里可以认为旋转矩阵  $R$  为单位矩阵  $I$ ，平移矩阵  $t$  都为0)：

$$P = K[I|0]$$

根据上述变换最终可以得到一个投影矩阵  $P$  的公式为：

$$P = K[R|t]$$

总结一下公式大致如下：

相机内部参数/内方位元素：焦距、像主点坐标、畸变参数

相机外部参数/外方位元素：旋转、平移

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{bmatrix} f & 0 & x_c \\ 0 & f & y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ t \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c & d \\ e & f & g & h \\ i & j & k & l \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

[https://blog.csdn.net/weixin\\_43843780](https://blog.csdn.net/weixin_43843780)

### 畸变参数

在几何光学和阴极射线管显示中，畸变是对直线投影的一种偏移。简单来说直线投影是场景内的一条直线投影到图片上也保持为一条直线。那畸变简单来说就是一条直线投影到图片上不能保持为一条直线了，这是一种光学畸变。畸变一般可以分为两大类，包括径向畸变和切向畸变。主要的一般径向畸变有时也会有轻微的切向畸变。

## 2、相机标定的实现

相机标定的目的：获取摄像机的内参和外参矩阵（同时也会得到每一幅标定图像的选择和平移矩阵），内参和外参系数可以对之后相机拍摄的图像就进行矫正，得到畸变相对很小的图像。

相机标定的输入：标定图像上所有内角点的图像坐标，标定板图像上所有内角点的空间三维坐标（一般情况下假定图像位于  $Z=0$  平面上）。

相机标定的输出：摄像机的内参、外参系数。

这三个基础的问题就决定了使用Opencv实现张正友法标定相机的标定流程、标定结果评价以及使用标定结果矫正原始图像的完整流程：

1. 准备标定图片
2. 对每一张标定图片，提取角点信息
3. 对每一张标定图片，进一步提取亚像素角点信息
4. 在棋盘标定图上绘制找到的内角点（非必须，仅为了显示）
5. 相机标定
6. 对标定结果进行评价
7. 查看标定效果——利用标定结果对棋盘图进行矫正

我准备的是下图这种格子数为 $7 \times 5$ ，内角点为 $6 \times 4$ 的棋盘格图片，手机型号为荣耀PLAY。



将它放在一个平面上从不同角度拍摄10张照片作为实验素材。

代码如下：

```
1 import cv2
2 import numpy as np
3 import glob
4
5 # 设置寻找亚像素角点的参数，采用的停止准则是最大循环次数30和最大误差容限0.001
6 criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_MAX_ITER | cv2.TERM_CRITERIA_EPS, 30, 0.001)
7
```

```

8 # 获取标定板角点的位置
9 objp = np.zeros((4 * 6, 3), np.float32)
10 objp[:, :2] = np.mgrid[0:6, 0:4].T.reshape(-1, 2) # 将世界坐标系建在标定板上, 所有点的z坐标全部为0, 所以只需要赋值x和y
11
12 obj_points = [] # 存储3D点
13 img_points = [] # 存储2D点
14
15 images = glob.glob("image4/*.jpg")
16 i=0;
17 for fname in images:
18     img = cv2.imread(fname)
19     gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
20     size = gray.shape[::-1]
21     ret, corners = cv2.findChessboardCorners(gray, (6, 4), None)
22     #print(corners)
23
24     if ret:
25
26         obj_points.append(objp)
27
28         corners2 = cv2.cornerSubPix(gray, corners, (5, 5), (-1, -1), criteria) # 在原角点的基础上寻找亚像素角点
29         #print(corners2)
30         if [corners2]:
31             img_points.append(corners2)
32         else:
33             img_points.append(corners)
34
35         cv2.drawChessboardCorners(img, (6, 4), corners, ret) # 记住, OpenCV的绘制函数一般无返回值
36         i+=1;
37         cv2.imwrite('conimg'+str(i)+'.jpg', img)
38         cv2.waitKey(1500)
39
40 print(len(img_points))
41 cv2.destroyAllWindows()
42
43 # 标定
44 ret, mtx, dist, rvecs, tvecs = cv2.calibrateCamera(obj_points, img_points, size, None, None)
45
46 print("ret:", ret)
47 print("mtx:\n", mtx) # 内参数矩阵
48 print("dist:\n", dist) # 畸变系数    distortion cofficients = (k_1,k_2,p_1,p_2,k_3)
49 print("rvecs:\n", rvecs) # 旋转向量    # 外参数
50 print("tvecs:\n", tvecs ) # 平移向量    # 外参数
51
52 print("-----")
53
54 img = cv2.imread(images[2])
55 h, w = img.shape[:2]
56 newcameramtx, roi = cv2.getOptimalNewCameraMatrix(mtx,dist,(w,h),1,(w,h))#显示更大范围的图片 (正常重映射之后会删掉一部分)
57 print(newcameramtx)
58 print("-----使用undistort函数-----")
59 dst = cv2.undistort(img,mtx,dist,None,newcameramtx)
60 x,y,w,h = roi
61 dst1 = dst[y:y+h,x:x+w]
62 cv2.imwrite('calibresult3.jpg', dst1)
63 print ("方法一:dst的大小为:", dst1.shape)

```

代码中的9、10、21、35行中的角点数根据自己的棋盘格大小进行更改。

实验分为两步，第一步主要是对每张图片进行角点的提取，结果如下：





第二步就是实现相机的标定，运行结果如下：

mtx为内参数矩阵，dist为畸变系数：

```
ret: 0.6446014314274708
mtx:
[[1.45570225e+03 0.00000000e+00 9.37301305e+02]
 [0.00000000e+00 1.46024376e+03 7.21115122e+02]
 [0.00000000e+00 0.00000000e+00 1.00000000e+00]]
dist:
[[ 0.12919168 -0.34917103 -0.0009397 -0.00367339 0.10893386]]
```

rvecs为旋转向量：

```
rvecs:
[array([[ -0.54853351],
        [ -0.03241297],
        [ -0.04779279]]), array([[ -0.77165452],
        [ -0.32675413],
        [ -0.5735174 ]]), array([[ -0.50939708],
        [ 0.08705469],
        [ 0.20690245]]), array([[ -0.53972255],
        [ -0.15666458],
        [ -0.35608194]]), array([[ -0.76008296],
        [ -0.06193984],
        [ -0.05788001]]), array([[ -0.007043 ],
        [ -0.30829716],
        [ -0.04310344]]), array([[ -0.0893361 ],
        [ 0.24906094],
        [ 0.00000000]])]
```

```

[ 0.06768806]], array([[ -0.92649355],
[ 0.03544335],
[ 0.00432999]]), array([[ -0.62160987],
[ 0.40871366],
[ -0.2412857 ]]), array([[ -0.77346133],
[ -0.05546735],
[ -0.13502922]])]

```

tvecs为平移向量：

```

tvecs:
[array([[ -2.18178635],
[ -1.32445131],
[ 7.77902484]]), array([[ -1.71756615],
[ -0.39895029],
[ 7.95296658]]), array([[ -2.07464358],
[ -2.10217356],
[ 8.60846876]]), array([[ -2.43380066],
[ -0.97144347],
[ 7.46425739]]), array([[ -2.04644389],
[ -0.92597448],
[ 8.93874358]]), array([[ -1.73960736],
[ -1.02161374],
[ 6.88674728]]), array([[ -1.86129455],
[ -0.8365307 ],
[ 8.49658444]]), array([[ -2.29935895],
[ -0.98278489],
[ 8.9072306 ]]), array([[ -2.0890592 ],
[ -0.09217529],
[10.21992901]]), array([[ -2.60396318],
[ -1.20533173],
[ 8.27502051]])]

```

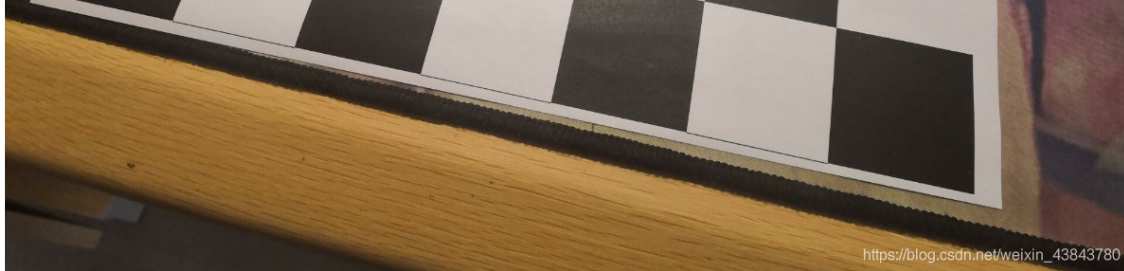
畸变矫正：

```
dst的大小为: (1317, 1809, 3)
```

矫正前后的图片







## 总结

通过标定得到荣耀PLAY的后置摄像头的内置参数矩阵为：

```
mTx:
[[1.45570225e+03 0.00000000e+00 9.37301305e+02]
 [0.00000000e+00 1.46024376e+03 7.21115122e+02]
 [0.00000000e+00 0.00000000e+00 1.00000000e+00]]
```

矫正后的图和原图通过对比发现差距并不大，只是在宽度上有一点拉伸（肉眼能看出的差距只有图片右上角的白字因为图片的拉伸而消失了），原因应该是原图基本上没有出现明显的畸变。（应该是现在的手机相机比较厉害吧...）

最详细、最完整的**相机标定**讲解视觉小新的博客 1万+

**相机标定**详解 最近做项目要用到**标定**，因为是小白，很多东西都不懂，于是查了一堆的博客，但没有一个博客能让我完全能看明白整个过程，绝大多数都...

请发表有价值的评论， 博客评论不欢迎灌水，良好的社区氛围需大家一起维护。

评论

百川千仞: 博主您好，请问这里输出的rves不应当是3\*3的矩阵吗，为什么实际输出的是3\*1的向量呢？ 1 年前 回复 ...

m0\_52546565 回复 3753: 请问 18 天前 回复 ...

靓靓靓亮 回复： 解决了吗 我也想知道 7 月前 回复 ...

鬼刀一開 回复 3753: 怎么转呢？ 8 月前 回复 ...

starry——sky 回复 3753: 请问这是什么意思？3\*1的向量通过什么方法转换成3\*3的矩阵，这里我也没有看明白，想知道怎样弄 1 年前 回复 ...

3753 回复： 向量要再次转换为矩阵 1 年前 回复 ...

皮皮鲁与鲁西西: 请问这个外参有什么意义呢 5 月前 回复 ...

皮皮鲁与鲁西西 回复： 如果是不同角度，外参就已经变化了啊 6 月前 回复 ...

L . ITTY: 请问一下 这矫正前后的区别在哪呢 8 月前 回复 ...

登录 查看 31 条热评

最详细、最完整的**相机标定**讲解\_a083614的专栏\_相机标定...10-29

在大多数条件下这些参数必须通过实验与计算才能得到,这个求解参数(内参、外参、畸变参数)的过程就称之为**相机标定**(或摄像机**标定**)。无论是在图像测...

相机标定(Camera calibration)原理、步骤\_Jensen Lee的...10-26

这已经是我第三次找资料看关于**相机标定**的**原理**和步骤,以及如何用几何模型,我想十分有必要留下这些资料备以后使用。这属于笔记总结。 1.为什么要相...

张正友**相机标定法原理与实现**Eating Lee 6万+

张正友**相机标定**法是张正友教授1998年提出的单平面棋盘格的**相机标定**方法。传统**标定**法的**标定**板是需要三维的，需要非常精确，这很难制作，而张正友...

相机标定原理chuhang\_zhqr的博客 1万+

之前写过一篇文章如何使用Opencv进行**相机标定**，但没有详叙**原理**，这里从**原理**上面入手，分析下**标定**算法**原理**。1：**相机成像原理** 首先了解四个坐标系...

综述| 相机标定方法\_计算机视觉life10-12

本文作者蔡重力,公众号:计算机视觉life成员,由于格式原因,公式显示可能出问题,建议阅读原文链接:综述| **相机标定**方法另外推荐几个原创的号 计算机视觉,...

实战| 相机标定\_计算机视觉life10-25

什么是**相机标定**?我们为什么需要**相机标定**? **相机标定**就是确定**相机**内参和外参的过程,其结果精度会直接影响视觉系统后续工作的准确性。 坐标系 **相机标**...

相机标定(Camera calibration) 热门推荐honyniu的专栏 6万+

简介摄像机**标定**(Camera calibration)简单来说是从世界坐标系换到图像坐标系的过程，也就是求最终的投影矩阵 PP 的过程，下面相关的部分主要参考UIU...

笔记总结-相机标定 ( Camera calibration ) 原理、步骤qq\_37791134的博客 4万+

这已经是我第三次找资料看关于**相机标定**的**原理**和步骤，以及如何用几何模型，我想十分有必要留下这些资料备以后使用。这属于笔记总结。1.为什...

相机模型详解及标定原理\_学海无涯10-28

M1中包含的旋转矩阵和平移向量是由**相机**坐标系相对于世界坐标系的位置决定的,因此称M1为**相机**的外部参数矩阵,R和t叫做外部参数,M 叫投影矩阵。**相机**...

图像处理——相机标定 ( Camera calibration ) fengye2two的专栏 3万+

非常感谢以下两位的渊博知识：（1）牧野- https://blog.csdn.net/dcrmg/article/details/52939318 （2）chao000000 https://blog.csdn.net/chao56789/arti...

摄像**相机标定**到底是啥？**标定**完成得到的参数有什么用？PangCoder的博客 3万+

今天说一个比较让人头疼的话题-----摄像机**标定** 为什么说令人头疼呢？因为解释起来与会花费很多的时间。 1.先介绍下摄像机成像**原理** 一个摄像机...

相机标定原理——数学基础点滴点点滴7267

**机标定**的过程设计到摄像机几何模型，**相机**镜头的透镜的畸变模型，世界坐标系，**相机**坐标系，图像坐标系（包括图像像素坐标系和图像物理坐标系）等...

相机标定-内外参数 原理	09-19
文档对相机标定中的内部参数和外部参数进行了详细解释； 相机标定：4个坐标系之间的转换，参数解释，畸变矫正公式。	
标定原理及过程整理	sihua3211的博客 3105
1. 原理 摄像机标定是指由已知特征点的图像坐标求解摄像机模型参数的过程。在假设镜头无畸变的情况下可以将摄像头通过镜头成像看作针孔模型，如图...	
相机标定方法	Ramble Over The Cloud~ 873
1、传统相机标定 最简单的相机标定为线性标定，即不考虑相机的畸变而只考虑空间坐标转换。 每个坐标点有X,Y两个变量，可列两个方程，相机内参有5...	
张正友相机标定Opencv实现以及标定流程&&标定结果评价&&图像矫正流程解析（附标定程序和棋盘图）...	weixin_30902251的博客 3985
使用Opencv实现张正友法相机标定之前，有几个问题事先要确认一下，那就是相机为什么需要标定，标定需要的输入和输出分别是哪些？ 相机标定的目...	
相机标定（Camera calibration）及实践	hitziyingcai的博客 1万+
在机器视觉领域，相机的标定是一个关键的环节，它决定了机器视觉系统能否有效的定位，能否有效的计算目标物。相机的标定基本上可以分为两种，第...	
©2021 CSDN 皮肤主题: 大白 设计师:CSDN官方博客 返回首页	

 邓程维 

关注


43


31


380











举报