

原

## 机器视觉学习笔记（4）——单目摄像机标定参数说明

2015年12月15日 14:01:15 moverzp 阅读数：21486

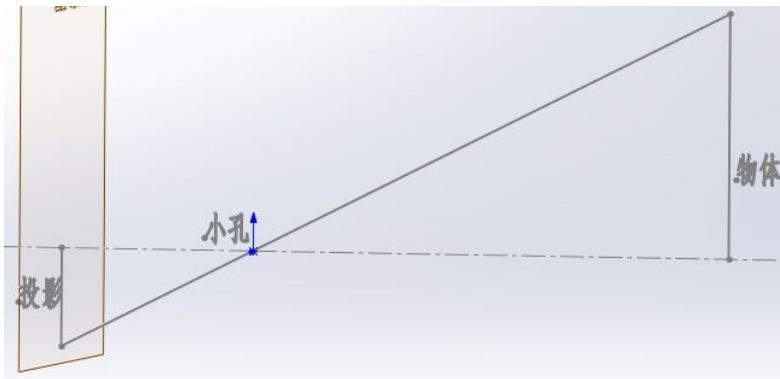
CSDN 版权声明：本文为博主原创文章，未经博主允许不得转载。 <https://blog.csdn.net/xuelabizp/article/details/50314633>

## 机器视觉学习笔记（4）——单目摄像机标定参数说明

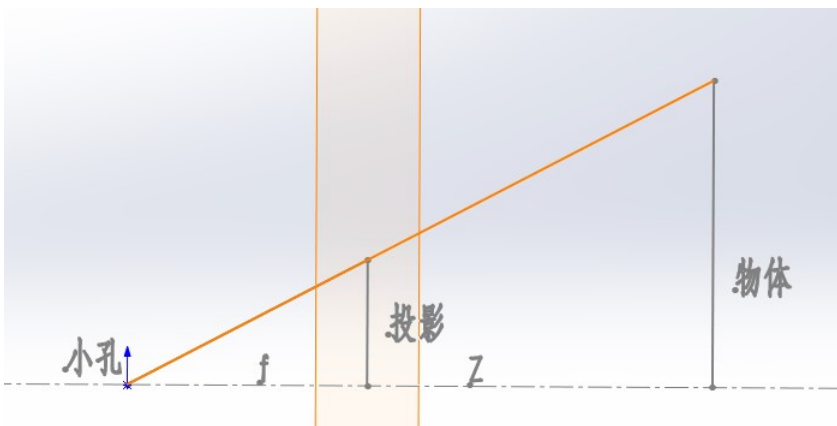
标签：机器视觉

### 1.针孔摄像机模型

- 在介绍摄像机标定参数之前，需要先简单说一下针孔摄像机的原理。投影平面到小孔的距离为焦距f，物体到小孔的距离为Z，其中物体和投影是倒系，下图为针孔摄像机的投影示意图：



- 如果按照实际的投影关系建立坐标系，那么投影坐标和物体坐标的符号总是相反的，考虑起来不太方便，于是在“数学上”把投影平面平移到其关位置，这样投影坐标和物体坐标符号就相同了，示意图如下：

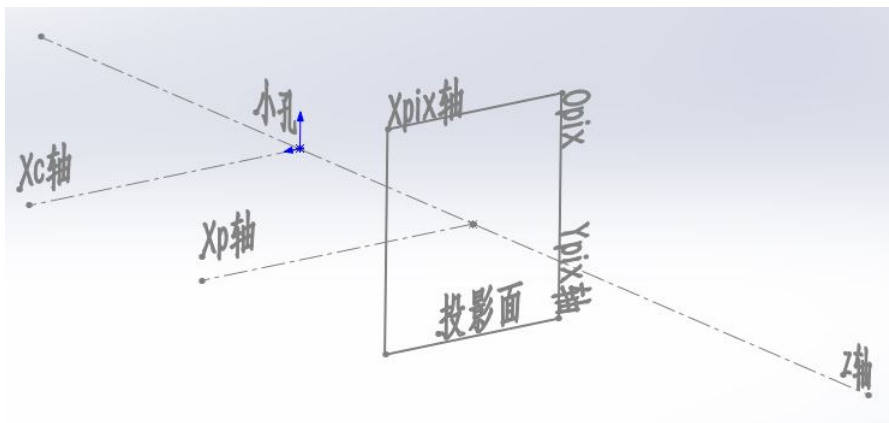


- 根据三角形相似的原理，可以列出如下等式：

$$\frac{f}{Z} = \frac{l_{\text{投影}}}{l_{\text{物体}}}$$

### 2.摄像机中的坐标系

- 摄像机中的坐标系有4个，均为右手坐标系，分别记为{world}，{camera}，{picture}，{pixel}，下图所示列出了{camera}，{picture}和{pixel}坐标



- {world}, {camera}, {picture}和{pixel}坐标系的坐标用下标来区分，分别是W，c，p，pix
- {world}, {camera}, {picture}坐标系单位为长度，一般为mm；{pixel}坐标系单位为像素，一般为pix
- {world}坐标系为世界坐标系，可以任意指定，其他坐标系都有明确的定义
- {camera}坐标系为摄像机坐标系，原点在光孔的位置，z轴与光轴重合，Xc轴和Yc轴分别和投影面两边平行
- {picture}坐标系为图像坐标系，光轴和投影面的交点为原点，Xp轴和Yp轴分别和投影面两边平行
- {pixel}坐标系为像素坐标系，从小孔向投影面方向看，投影面的左上角为原点Opix，Xpix轴和Ypix轴和投影面两边重合

### 3.各个坐标系的坐标转换

#### 3.1{world}到{camera}

设某点在{world}坐标系中的坐标为  $P_W = [x_W, y_W, z_W]^T$ ，该点在{camera}坐标系中的坐标为  $P_c = [x_c, y_c, z_c]^T$ ，则有

$$P_c = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} P_W$$

其中R是正交旋转矩阵：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

T是平移矩阵：

$$T = [t_x \quad t_y \quad t_z]^T$$

确定R需要3个参数，确定T需要3个参数，共需6个参数，这6个参数称为**摄像机的外部参数**。

#### 3.2{camera}到{picture}

根据三角形相似原理，可得

$$\begin{cases} x_p = f \frac{x_c}{z_c} \\ y_p = f \frac{y_c}{z_c} \end{cases}$$

写成矩阵形式

$$z_c \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix}$$

### 3.3{picture}到{pixel}

$s_x$ 表示Xpix方向上单位mm的像素数，单位是pix/mm

$s_y$ 表示Ypix方向上单位mm的像素数，单位是pix/mm

$x_0, y_0$ 表示投影平面中心在{pixel}中的坐标，则有

$$\begin{cases} x_{pix} = x_0 + x_p \cdot s_x \\ y_{pix} = y_0 + y_p \cdot s_y \end{cases}$$

写成矩阵形式

$$\begin{bmatrix} x_{pix} \\ y_{pix} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & x_0 \\ 0 & s_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix}$$

### 3.4{world}到{pixel}

记

$$\begin{cases} f_x = f \cdot s_x \\ f_y = f \cdot s_y \end{cases}$$

分别表示焦距 $f$ 在Xpix和Ypix方向上的等效焦距，单位是pix，结合（1）（5）（7）（8）式可得

$$z_c \begin{bmatrix} x_{pix} \\ y_{pix} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & x_0 & 0 \\ 0 & f_y & y_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_W \\ y_W \\ z_W \\ 1 \end{bmatrix}$$

### 3.5小结

单目摄像机需要标定参数就是 $f_x, f_y, x_0, y_0$ ，这4个参数

- $f_x, f_y, x_0, y_0$ 叫做摄像机的内部参数，因为这些参数只和摄像机有关系，和具体的摄像场景，和世界坐标系没有关系
- $R$ 和 $T$ 内部一共有6个独立的参数，叫做外部参数。外部参数是描述世界坐标系和摄像机坐标系的参数，所以只要世界坐标系和摄像机坐标系的相对变化， $R$ 和 $T$ 就会改变，甚至可以说，每一张图片的 $R$ 和 $T$ 都不一样
- 单目摄像机标定就是已知像素坐标系下的坐标 $P_{pix}$ 和世界坐标系下的坐标 $P_W$ ，列方程组求解内部参数

## 4.摄像机透镜畸变

由于针孔可以透过的光线太少，成像会不清楚，所以往往都会加上凸透镜汇聚更多的光线。但是加上凸透镜以后，会导致成像畸变，所以还需要对畸变进行校正。畸变主要分为两类，一类是径向畸变，一类是切向畸变

### 4.1径向畸变

径向畸变会产生“鱼眼”现象。成像中心处径向畸变为0，径向畸变随着与成像中心距离增大而增大，在图像边缘处达到最大径向畸变。常常用以下公式描述径向畸变

$$\begin{cases} x_{corrected} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \\ y_{corrected} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \end{cases}$$

### 4.2切向畸变

切向畸变由透镜和成像平面不平行引起。常用如下公式描述

$$\begin{cases} x_{corrected} = x + [2p_1 y + p_2(r^2 + 2x^2)] \\ y_{corrected} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2 x] \end{cases}$$

### 4.3小结

单目摄像机透镜畸变校正需要确定的就是 $k_1, k_2, k_3, p_1, p_2$ 这5个参数，如果“鱼眼”现象不明显的话，常常使用 $k_1, k_2$ 来校正径向畸变

## 5.总结

- 单目摄像机标定和校正最终将获得9个参数，内部参数是4个，畸变校正参数是5个

• 单目摄像机标定常用的工具有OpenCV库和Matlab  
Python怎么学 转型AI人工智能指南 人工智能薪资趋势 IT巨头的敏捷之路

27

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

- 具体如何使用OpenCV标定单目摄像机（含源代码），请参考下一篇博文[机器视觉学习笔记（5）——基于OpenCV的单目摄像机标定](#)

想对作者说点什么

深度睡眠--: 齐次坐标变换, Pw和Pc向量末尾应该添加1吧 (7个月前 #6楼)

qq\_42568616: 双目摄像机透镜畸变校正与单目的有什么区别? (7个月前 #5楼)

qq\_41993770: 最近在做有目标双目精确测量三维坐标 这是急需的资料 非常感谢博主! 其他博文都贴图贴代码 很少讲本质原理 都一带而过 直接就跳到用opencv做了 非常不负责 调用函数谁不会。 (9个月前 #4楼) [查看回复\(1\)](#)

Rasin\_Wu: 矩阵5里面是不是少了两个参数, 内参总共是4个, 在矩阵5中应该在13和23位置少了两个由于装配的误差而产生的两个偏移参数? (10个月前 #3楼)

heartprince: 博主, 你好, 在3.4部分, 因为最后得到的是fx和fy等效焦距, 我要得到焦距f就得知道sx,请问sx怎么得到呢? 希望博主能解答一下~~谢谢, 谢谢~ (1年前)

lhhero701: 总结清晰明了, 赞一个 (1年前 #1楼)

27

7

1

2

## 机器视觉学习笔记（5）——基于OpenCV的单目摄像机标定

阅读数 1

机器视觉学习笔记（5）——基于OpenCV的单目摄像机标定标签（空格分隔）：机器视觉本文Camera... 博文 来自：[moverzp的博客](#)

## OpenCV单目摄像头标定

阅读数 116

转载自：<https://blog.csdn.net/xiaoxuebajie/article/details/78213573> OpenCV单目摄像头标定代... 博文 来自：[cyem1的博客](#)

## 单目相机标定-原理及实现

阅读数 8008

本文转载自博客：<http://blog.csdn.net/before1993/article/details/51210595>一、标定原理 相机... 博文 来自：[woaitingting1...](#)

## 摄像机的内参数和外参数

阅读数 7900

1.简介 1) 摄像机的内参数 (Intrinsic) 由摄像机本身决定, 只与摄像机本身有关。其参数有: 参数... 博文 来自：[MyArrow的专栏](#)

## 计算机视觉-相机内参数和外参数

阅读数 5

相机内参数是与相机自身特性相关的参数, 比如相机的焦距、像素大小等; 相机外参数是在世界坐标系... 博文 来自：[liulina603的专栏](#)

## 如何根据相机的参数知道摄像机的内参数矩阵

阅读数 1320

摄像机的透视投影模型 (即针孔成像模型): 设OXYZ为世界坐标系, uv为以像素为单位的图像坐... 博文 来自：[gloriazhang20...](#)

## 单目相机标定原理

阅读数 1

一、相机标定主要涉及三个坐标系: 图像坐标系、摄像机坐标系和世界坐标系【图像坐标系】摄像机采... 博文 来自：[passball](#)

## 关于单目摄像头标定, 我采用了网上那个张正有的方法, 但是出现了以下错误

大神们帮看看是啥问题, 感激不尽! 源码如下: #include "cvut.h" #include <iostream> #include <fstre... 博文 来自：[passball](#)

论坛

## OPENCV3.0 单目摄像头标定(使用官方自带的标定图片)

阅读数 3108

[cpp]viewplaincopy// opencv\_test.cpp : 定义控制台应用程序的入口点。 // #include "stdafx.h" ... 博文 来自：[dxmccu的专栏](#)

## 张正友老师摄像机标定算法详解

阅读数 511

读者可以参考博文：<https://blog.csdn.net/u010128736/article/details/52860364><https://blog.csdn.net/u010128736/article/details/52860364>博文 来自：[杨德龙的专栏](#)

Eason.wxld  
627篇文章  
[关注](#) 排名:91

巧帮二帮主  
154篇文章  
[关注](#) 排名:千里之外

Augustdi  
4107篇文章  
[关注](#) 排名:5

luoshi006  
25篇文章  
[关注](#) 排名:千里之外

## 【机器视觉】单目视觉测距

阅读数 4737

<http://blog.csdn.net/purple/article/details/50811490> 单目视觉测距2016-03-0523:43 1800人阅... 博文 来自：[Taily老段的专栏](#)

## 相机参数标定 (camera calibration) 及标定结果如何使用

阅读数 9751

一直都想写一写这个主题, 但是, 一直都感觉有点虚, 也没有去整理。在网上搜了一下, 发现大多数都... 博文 来自：[Aoulun的博客](#)

## 机器视觉学习笔记（7）——基于OpenCV的双目摄像机标定

阅读数 7233

机器视觉学习笔记（7）——基于OpenCV的双目摄像机标定标签：机器视觉本文CameraCalibrator类... 博文 来自：[moverzp的博客](#)

[Python怎么学](#)

[转型AI人工智能指南](#)

[人工智能薪资趋势](#)

[IT 巨头的敏捷之路](#)





## openCV---相机内外参标定

阅读数 1

参考张正友相机标定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...

博文 来自: [线上幽灵](#)

## 使用openCV标定摄像机的各种参数

阅读数 5013

平台: windows10+vs2013版本: openCV3.1.0参考的博客: [http://wiki.opencv.org.cn/index.php/...](http://wiki.opencv.org.cn/index.php/)

博文 来自: [wangshuailpp...](#)

## 单目视觉标定原理

阅读数 2700

单目视觉标定原理<http://www.cnblogs.com/polly333/p/4994408.html>在计算机视觉中，通过相机标...

博文 来自: [xjgao75的专栏](#)

## 相机模型与标定（四）--opencv单目标定例子使用说明

阅读数 8411

原文: <http://blog.csdn.net/t24755529/article/details/47836233>最近一个项目要进行相机的标定...

博文 来自: [工作笔记](#)

## 摄像机标定立体匹配

阅读数 1564

最近整理了一下这两年一直在用的最近整理了一下这两年一直在用的摄像机标定与立体匹配测试程序，...

博文 来自: [q1234567890...](#)



## 学会用数据讲故事，职场必备技能！

成为商业数据分析师，抢占互联网红利！零基础3个月入门，高薪就业！

## 机器视觉课内实验：一种摄像机标定算法的编程实现（张正友）

阅读数 223

机器视觉课内实验：一种摄像机标定算法的编程实现工具箱toolbox\_calib: <http://www.vision.caltec...>

博文 来自: [The\\_Best\\_Hac...](#)

## 单目摄像机标定原理（针孔模型）

阅读数 2008

a) 图像平面坐标系统与图像坐标系的关系如下图所示:用齐次方程表示如下: b)摄像机坐标与图像平...

博文 来自: [一蒙小子的专栏](#)

## 单目摄像机标定

VS2013+opencv2.4.9 单目摄像机标定，有详细的程序讲解和教程

03-27

下载

## 摄像相机标定到底是啥？标定完成得到的参数有什么用？

阅读数 1

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...

博文 来自: [猿芋芯的博客](#)

## 【计算机视觉】摄像机标定2 原理篇

阅读数 5432

转载 摄像机标定<http://blog.csdn.net/tiemaxiaosu/article/details/51728961>一、概述1、摄像机标...

博文 来自: [开源节流](#)



## 成为商业数据分析师，抢占互联网红利！

零基础3个月入门，提升职场数据分析技能，高薪晋升！

## 【CG】摄像机标定原理与实现

阅读数 510

OpenCVOpenCV中如何检测棋盘格OpenCvcvCalibrateCamera2函数

博文 来自: [鹅城视觉驿站](#)

## 【OpenCV】摄像机标定+畸变校正

阅读数 3

通过MATLAB和OpenCV对摄像机进行标定，附程序！

博文 来自: [王强\\_CASIA的...](#)

## Opencv摄像头标定

阅读数 2610

目标: 最近在做双目测距的东西，其中遇到获取摄像头内外参数的问题，就学习了相关的一些东西，做...

博文 来自: [狗尾巴草的一...](#)

## 相机标定中的相机焦距

阅读数 1104

相机焦距为摄像机中心到图像平面中心的距离

博文 来自: [kkkkkkkkq的...](#)

## 关于摄像头标定中缩放参数s(scale)的解释

阅读数 882

大家可能有段时间听过一句广告语：前置2000万柔光自拍，照亮你的美！分隔符\*\*\*\*\*

博文 来自: [yuandm819的...](#)



## 成为商业数据分析师，抢占互联网红利！

零基础3个月入门，提升职场数据分析技能，高薪晋升！

## 【入门】OpenCV2单目相机标定 采用官方例程

阅读数 717

【入门】OpenCV2单目相机标定采用官方例程课程设计要采用相机标定。瞎搞了半天，在查找各方资...

博文 来自: [little\\_cat123的...](#)

## 基于OpenCV立体视觉标定和校正

阅读数 1

Python怎么学 [转型AI人工智能指南](#) [人工智能薪资趋势](#) [IT巨头的敏捷之路](#)  
立体标定的计算空间上的两台摄像机几何关系的过程，立体校正则是对个体图像进行校正，保证这些图...

博文 来自: [lijiayu2015的...](#)

27

7

目

贝

口

<

>





Android开发本地及网络Mp3音乐播放器(十二)创建NetMusicListAdapter、Sear...

实现功能： 实现NetMusicListAdapter（网络音乐列表适配器） 实现SearchResult（搜索音乐对象） ... 博文 来自： iwanghang(一...

【小程序】微信小程序开发实践

帐号相关流程注册范围 企业 政府 媒体 其他组织换句话说讲就是不让个人开发者注册。:)填写企业信息不... 博文 来自： 小雨同学的技...

数据切分——原理

声明：本系列教程参考资料《Mysql性能调优与架构设计》 Why Mysql? 大家可能怀疑，数... 博文 来自： 姜海强

整数在计算机中的编码

整数在计算机中是使用补码表示的，在讲解补码前，先看一下相关概念。 机器数与真值 数值在计算机... 博文 来自： gaoyi的专栏

EasyUI - 一个简单的后台管理系统入门实例

采用EasyUI 1.4.x 版本，默认default风格，异步加载页面，多Tab页展示，使用JSON文件模拟从后台... 博文 来自： 般若

linux上安装Docker(非常简单的安装方法)

最近比较有空，大四出来实习几个月了，作为实习狗的我，被叫去研究Docker了， 汗汗！ Docker的三... 博文 来自： 我走小路的博客

人脸检测和识别 源代码 下载-opencv3+python3.6完整实战项目源代码 识别视频《...

人脸检测和识别- opencv3+python3完整实战项目源代码 识别视频《欢乐颂》中人物 python opecv3... 博文 来自： wyx100的专栏

人脸检测工具face\_recognition的安装与应用

人脸检测工具face\_recognition的安装与应用 博文 来自： roguesir的博客

Spark2学习1之基本环境搭建（win）问题

更多代码请见：https://github.com/xubo245/SparkLearning 版本：Spark-2.0.01解释 从【2】中下... 博文 来自： Keep Learning

ThreadLocal的设计理念与作用

Java中的ThreadLocal类允许我们创建只能被同一个线程读写的变量。因此，如果一段代码含有一个Thr... 博文 来自： u011860731...

jquery/js实现一个网页同时调用多个倒计时(最新的)

jquery/js实现一个网页同时调用多个倒计时(最新的) 最近需要网页添加多个倒计时. 查阅网络,基本上都... 博文 来自： websites

bsgs算法

bsgs算法 bsgs算法，又称大小步算法（某大神称拔山盖世算法）。主要用来解决  $A^x \equiv B \pmod C$  (C... 博文 来自： clover\_hxy的...

CS231n 卷积神经网络与计算机视觉 6 数据预处理 权重初始化 正则化 损失函数 等常...

1 数据处理 首先注明我们要处理的数据是矩阵X，其shape为[N x D] (N =number of data, D =dimen... 博文 来自： bea\_tree的博客

基于Linux的智能家居的设计(5)

4 软件设计 软件设计部分主要包括uboot移植、内核编译、系统移植、设备驱动编程、应用程序编程... 博文 来自： 求是07的专栏

强连通分量及缩点tarjan算法解析

强连通分量：简言之 就是找环（每条边只走一次，两两可达） 孤立的一个点也是一个连通分量 使用t... 博文 来自： 九野的博客

centos 查看命令源码

# yum install yum-utils 设置源: [base-src] name=CentOS-5.4 - Base src - baseurl=http://vault.ce... 博文 来自： linux/unix

Cocos2d-x 2.2.3 使用NDK配置编译环境

Cocos2d-x 2.2.3 使用NDK配置编译环境2014年6月11日 Cocos2d-x 3.0以下的开发环境的配置恐怕折... 博文 来自： 巫山老妖

关于SpringBoot bean无法注入的问题（与文件包位置有关）

问题场景描述整个项目通过Maven构建，大致结构如下： 核心Spring框架一个module spring-boot-b... 博文 来自： 开发随笔

SpringBoot入门系列：第六篇 mybatis

这一篇，代码折腾的时间较长，完成之后都是一些小细节，主要有三： 1、引入的依赖错误； 2、启动... 博文 来自： lxjh的专栏

DirectX修复工具增强版

最新更新：2018-12-20 DirectX修复工具最新版：DirectX Repair V3.8 增强版 NEW! 版本号：V3.8.0... 博文 来自： VBcom的专栏



机器学习 机器学习课程 机器学习教程 深度学习视频教程 深度学习学习

bootstrap4学习笔记 c++单目运算 机器视觉 框架源代码c# c++ fwrite函数参数说明 bootstrap 学习笔记 人工智能学习笔记 python学习笔记



moverzp

关注

原创	粉丝	喜欢	评论
56	444	152	171

等级: **博客白** 访问: 27万+

积分: 2877 排名: 1万+

勋章:



#### 最新文章

Kaggle练习赛Titanic手札

基于Python查看SVD压缩图片的效果

K均值聚类算法(K-Means)

基于物品的协同过滤算法: 理论说明, 代码实现及应用

爬取了豆瓣11W+网页, 获取了5W+有效书籍信息

#### 个人分类

小白学算法	19篇
牛刀小试	3篇
实用编程技术	2篇
Python	16篇
MFC	1篇

展开

#### 归档

2016年10月	1篇
2016年8月	1篇
2016年7月	2篇
2016年5月	1篇
2016年4月	4篇

展开

#### 最新评论

K均值聚类算法(K-Means)

Python怎么学 [2664071717的python源代码](#) [人工智能薪资趋势](#) [IT 巨头的敏捷之路](#)

27

7

目

贝

口

<

>



关闭



K均值聚类算法(K-Means)

xuelabizp: [reply]zhangquanwei386[/reply] 这里: https://github....

机器视觉学习笔记（8）——基于Op...

qq\_33567908: 亲爱的博主你好，看了你的有关摄像机标定的相关内容，我很感兴趣，是否可以学习你的代码，有关摄像机标定...

机器视觉学习笔记（9）——一个双目...

u014731484: [reply]qq\_43028950[/reply] 请问你现在实现这个例子的代码了吗

机器视觉学习笔记（9）——一个双目...

u014731484: 楼主，能否问一下这一步“整理交点在[pixel]下坐标和视差到pixMat”和worldMat=...

热门文章

K均值聚类算法(K-Means)

阅读数 40066

机器视觉学习笔记（4）——单目摄像机标

定参数说明

阅读数 21460

基于物品的协同过滤算法：理论说明，代码

实现及应用

阅读数 16627

机器视觉学习笔记（5）——基于OpenCV

的单目摄像机标定

阅读数 15419

机器视觉学习笔记（6）——双目摄像机标

定参数说明

阅读数 14482



微信客服



QQ客服

QQ客服

kefu@csdn.net

客服论坛

400-660-0108

工作时间 8:30-22:00

关于我们 招聘 广告服务 网站地图

百度提供站内搜索 京ICP证19004658号  
©1999-2019 北京创新乐知网络技术有限公司

网络110报警服务 经营性网站备案信息  
北京互联网违法和不良信息举报中心  
中国互联网举报中心

27

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

7

Python怎么学

转型AI人工智能指南

人工智能薪资趋势

IT 巨头的敏捷之路

机器视觉入门

永久虚拟主机