

基于视觉传感器的智能车摄像头标定技术研究(下)

Research on Calibration Method for a Smart Car Based on Vision

王建 中国科学技术大学自动化系(安徽合肥 230027)

张晓炜 杨锦 咎鑫 刘小勇 西安交通大学(陕西西安 710049)

摘要: 在智能车比赛中,摄像头组肯定要遇到的问题图像存在梯形失真,若选用广角镜头,还会存在桶形失真。解决这两种几何失真将对后面的处理提供方便。本文介绍了作者所在车队的摄像头标定技术。此方法简单实用,值得借鉴。

关键词: 智能车;飞思卡尔;梯形失真;桶形失真;广角镜头

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5517.2010.06.011

(接上期)

几何失真校正方法

建模分析

如图7所示,世界坐标系中的点 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 首先经过刚体变换到摄像头坐标系中的点 $P(X, Y, Z)$ 。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T = \begin{bmatrix} r1 * X_w + r2 * Y_w + r3 * Z_w + T_x \\ r4 * X_w + r5 * Y_w + r6 * Z_w + T_y \\ r7 * X_w + r8 * Y_w + r9 * Z_w + T_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1)

然后再从摄像头坐标系到理想的图像坐标系的透视变换。

$$Xu = f \frac{X}{Z}, Yu = f \frac{Y}{Z} \quad (\text{公式2})$$

图8是一镜头理想成像原理图,图中左边的直线是目标,右边的直线是目标所成的象。从图中可以看出,目标中心点 O 点成象于象的中心 O' 点,目标上不同的两点 A 点和 B 点成象

于 A' 和 B' 点,且有 $\frac{O'A'}{OA} = \frac{O'B'}{OB}$ 。但

大视场角使得广角镜头不能再等效为理想透镜,而是一个焦距随着目标离光轴距离增大而减小的成像系统。根据牛顿成像定理,目标高度 r 与对应

象高 r' 之间的计算关系为 $r' = r \times \frac{u}{u - f}$ 。

在物距 u 一定的情况下,焦距 f 愈

小,象高 r' 愈小。这样,随着目标离光轴距离 r 的增加,焦距 f 随着减小,所成图象就产生了桶形失真。由以上的分析可看出,桶形失真可以看成像素点向心径向收缩,且随着目标距光轴距离 r 的增加,收缩率增大。

因此,如果使失真图象中的像素离心径向按不同膨胀率增大,即可实现几何失真校正。

实验方法

情况(1):摄像头俯角小,虽有桶形失真,但关键区域处于图像中部。如图9所示。分段逆透视变换适

用于这种情况。

若忽略桶形失真,即让 $U = Xu + \text{Center}_u$, $V = Yu + \text{Center}_v$ (注意图7中图像原点 O_{uv} 在摄像头坐标系中坐标为 $(-\text{Center}_u, -\text{Center}_v, f)$),则由公式1和公式2可知,

$$U = f \frac{r1 * X_w + r2 * Y_w + r3 * Z_w + T_x}{r7 * X_w + r8 * Y_w + r9 * Z_w + T_z} + \text{Center}_u, V = f \frac{r4 * X_w + r5 * Y_w + r6 * Z_w + T_y}{r7 * X_w + r8 * Y_w + r9 * Z_w + T_z} + \text{Center}_v$$

(3)

由于 $Z_w = 0$,上式又可写成:

$$U = \frac{n1 * X_w + n2 * Y_w + n3}{n7 * X_w + n8 * Y_w + 1}, V = \frac{n4 * X_w + n5 * Y_w + n6}{n7 * X_w + n8 * Y_w + 1}$$

(4)

反解 X_w, Y_w ,可得:

$$X_w = \frac{m1 * U + m2 * V + m3}{m7 * U + m8 * V + 1}, Y_w = \frac{m4 * U + m5 * V + m6}{m7 * U + m8 * V + 1}$$

(5)

上式又可写成:

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U & V & 1 & 0 & 0 & 0 & -UX_w & -UY_w \\ 0 & 0 & 0 & U & V & 1 & -UY_w & -UX_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m1 & m2 & m3 & m4 & m5 & m6 & m7 & m8 \end{bmatrix}$$

(6)

理论上根据4个点 $m1-m8$ 就可以有一组解。

实验步骤如下:以车头为原点,在车头前选取8个点,如图10所示(单位:cm)。选点要求范围尽量大,跑道经常出现的区域,但又不能处于摄像头输出图像边缘区域;从图9中读出各点像素坐标 (a, b) ;根据分辨率将各像素坐标转换为单片机图像坐标,这是一个线性变换;将8个点

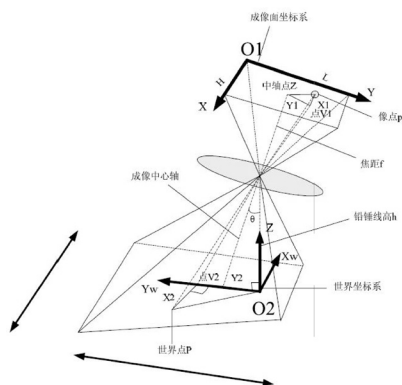


图6 成像坐标与世界坐标的关系

分成near、middle、far三组，每组4个点，根据式6可求出三组解。

在单片机程序中，当图像预处理得到 (U, V) 后，可根据式5解出 (Xw, Yw) ，差别是 (U, V) 处于不同位置时用不同的参数。由于相邻梯形有两个点是复用的，所以参数不会出现跳跃。图11显示该方法效果很好。

文献^[7]中提到可以选取很多点，然后采用最小二乘法进行拟合。但是由于各像素点失真程度不一样(越远离图像中心失真越严重)，所以最后结果可能是本来失真较小的点被失真较大的点所“拖累”，没有一个点是准确的。

情况(2)：摄像头俯角较大，跑道会出现在图像各个位置(如图1(b)所示)，这时单片机需要对整幅图像进行处理。可使用下列方法。

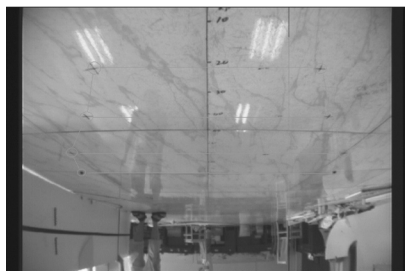


图9 电视盒读取的摄像头模拟输出 (480×664)

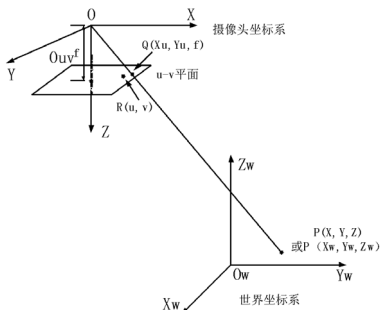


图7 摄像头成像原理示意图

这时不再让 $U=Xu, V=Yu$ ，而是设

$$(U - \text{Center}_u) + (U - \text{Center}_u) * k * r^2 = Xu, (V - \text{Center}_v) + (V - \text{Center}_v) * k * r^2 = Yu,$$

$$\text{其中 } r = \sqrt{(U - \text{Center}_u)^2 + (V - \text{Center}_v)^2}, k \text{ 为拟合系数。}$$

(7)

从图像中读出多个像素坐标 (U, V) ，令 k 初值为0.00001，通过式7解出 (Xu, Yu) ，根据式6通过最小二乘法解出，再根据式5求出 (Xw, Yw) ，求出拟合误差sum_err。（这里要将式5与式6中的 U, V 分别换成 Xu, Yu ）。有关最小二乘法可参考文献^[8]。

将 k 累加0.00001，同样的步骤可求出sum_err。

画出 k 与sum_err曲线，sum_err起初随着 k 增大而减小，但从某个 k 开始又开始增大， k 值即取拐点处的值。

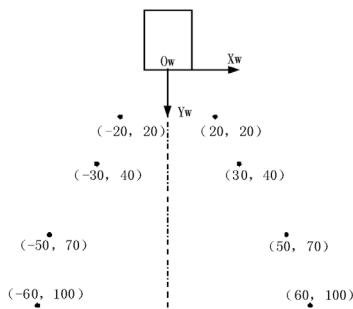


图10 选点示意图

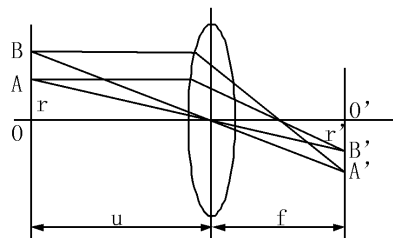
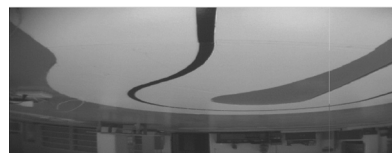
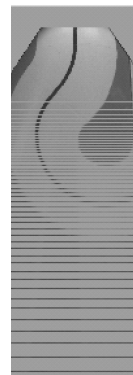


图8 镜头理想成像原理图示意



(a)



(b)

图11 (a)为一“发卡”弯 (240×624)，(b)为变换后图像

结论

本文根据摄像头成像模型，导出逆透视变换公式，并根据两种情况分别给出解决方案。该解决方案方便可行，

可供各参赛摄像头队伍参考。EW

参考文献

- [1]卓晴, 黄开胜, 邵贝贝等. 学做智能车 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007:17.
- [2]谢彤, 童周力, 张文超. 国防科技大学“红旗1”队技术报告 [R]. 2008:53-55.
- [3]杨树峰, 王满物, 李国洪. 东北大学“猎豹”队技术报告 [R]. 2009:23-26.
- [4]赵祥磊, 吴颖燕, 雷典. 吉林大学“爱德”队技术报告 [R]. 2009:附录A 1-4.
- [5]刘运银, 刘帅, 洪长志. 合肥学院“突击”队技术报告 [R]. 2009:53-54.
- [6]陈鹏, 苏文友, 关振明. 华南理工大学“急速”队技术报告 [R]. 2009:22-23.
- [7]胡晨晖, 陆佳南, 陈立刚. 上海交通大学“CyberSmart”队技术报告 [R]. 2007:90-92.
- [8]冯培德. 系统辨识(第二版) [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2004: 56-58.
- [9]汪国育, 俞立科, 张天序. 一种新的大视场景象的几何失真校正方法[J]. 数据采集与处理, 1996, 11(2):112-115.

基于视觉传感器的智能车摄像头标定技术研究(下)

作者：[王建](#)，[张晓炜](#)，[杨锦](#)，[咎鑫](#)，[刘小勇](#)
作者单位：[王建](#)(中国科学技术大学自动化系, 安徽合肥, 230027)，[张晓炜](#), [杨锦](#), [咎鑫](#), [刘小勇](#) (西安交通大学, 陕西西安, 710049)
刊名：[电子产品世界](#) 
英文刊名：[ELECTRONIC ENGINEERING & PRODUCT WORLD](#)
年，卷(期)：2010, 17(7)

参考文献(9条)

1. [卓晴](#); [冀开胜](#); [邵贝贝](#) [学做智能车](#) 2007
2. [湛彤](#); [童周力](#); [张文超](#) [国防科技大学“红旗 I”队技术报告](#) 2008
3. [杨树峰](#); [王潇杨](#); [李国洪](#) [东北大学“猎豹”队技术报告](#) 2009
4. [赵祥磊](#); [吴颖嘉](#); [雷典](#) [吉林大学“爱德”队技术报告](#) 2009
5. [刘运银](#); [刘帅](#); [洪长志](#) [合肥学院“突击”队技术报告](#) 2009
6. [陈易厅](#); [苏文友](#); [关振明](#) [华南理工大学“急速”队技术报告](#) 2009
7. [胡晨晖](#); [陆佳南](#); [陈立刚](#) [上海交通大学“CyberSmart”队技术报告](#) 2007
8. [冯培饬](#) [系统辨识](#) 2004
9. [汪国有](#); [俞立科](#); [张天序](#) [一种新的大视场景象的几何失真校正方法](#) 1996(02)

本文读者也读过(2条)

1. [贾秀江](#), [李颢](#) [摄像头黑线识别算法和赛车行驶控制策略](#)[期刊论文]-[电子产品世界](#)2007(5)
2. [王建](#), [张晓炜](#), [杨锦](#), [咎鑫](#), [刘小勇](#) [基于视觉传感器的智能车摄像头标定技术研究\(上\)](#)[期刊论文]-[电子产品世界](#)2010, 17(6)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzcpsj201007012.aspx