

基于计算机视觉的电子白板定位技术研究

王 钢, 张华熊, 胡 洁

(浙江理工大学信息学院, 杭州 310018)

摘 要: 随着信息技术的发展,电子白板利用其信息化教育的特点,得到了广泛的应用。文章提出了一种基于计算机视觉电子白板定位技术,通过对采集到的视频图像进行内参校正和角点校正,并建立世界坐标系与图像坐标系之间的映射变换,最终实现激光笔点光源的精确定位。实验结果表明,该方法具有快速、可靠和有效的特点。

关键词: 畸变校正; 电子白板; 单目视觉; 定位; 坐标

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

0 引 言

当今科技发展日新月异,尤其是计算机技术的发展给人们的生活带来巨大的变化。传统的交互方式已不能满足人们的需求。正是在这样的背景下,一种有计算机支持的电子白板出现了。电子白板是通过计算机支持的协同工作的图形交互工具。

目前,多媒体教室正广泛出现在学校中,将视频和音频生动地表现在课堂上,提升了学生学习的积极性,大大提高了课堂教学效果。但是演讲者的操作都是单向,即只有计算机的输出,而没有实现人机交互。例如 T. Creed 等就强烈反对单纯使用 PowerPoint 教学^[1],交互式电子白板的出现实现演讲者和计算机之间的双向交流。演讲者只需要在投影幕布上通过激光笔进行各种操作,就可以向计算机发送指令,计算机接收到指令后,作出相应的响应。

现阶段实现电子白板定位技术的有电磁感应、红外线、电阻、超声波、CCD 等技术^[2]。尤以电阻式压力感应和电磁感应技术应用最为广泛,据 Express Research 统计,这两种技术分别占据 55% 和 38% 的全球市场份额。每种技术都有不同的特点与优点,但也都存在一些缺陷。

本文提出一种新型的交互式电子白板系统,并

提出一种在进行内参校正后通过仿射变换来实现坐标转换的算法,能够快速实现系统标定。该系统利用光学镜头 CCD 摄像器件来采集电子笔的运动轨迹,通过视频图像处理、计算机视觉及定位算法捕捉屏幕上光点的位置,在特定的软件支持下,建立一种新型交互式电子白板系统,可以将任意大屏幕变成具有电子书写板和触控功能的大型触摸屏,该设备不需要特定的附加屏就能工作,且成本较低。

1 系统设计

整个电子白板系统由一个 CCD 摄像头、视频采集卡、PC 机、投影仪等组成,如图 1 所示。计算机通过视频卡将 CCD 摄像头所拍摄的视频图像以每秒 25 帧不断地采集到计算机中进行处理,书写用的笔是一个普通激光笔,当操作者按下激光笔按钮时,激光笔就会发出一束光束,将激光笔指向投影幕布时,就能看到一个小光点。计算机用相关的算法将采集到的光点视频图像进行分析处理,最终用户可以通过操作激光笔实现在幕布上书写,达到即时板书的效果;也可以直接对计算机进行操作,比如单击、双击、拖动等。

2 原理与方法

单目视觉主要研究的就是要实现三维场景到平

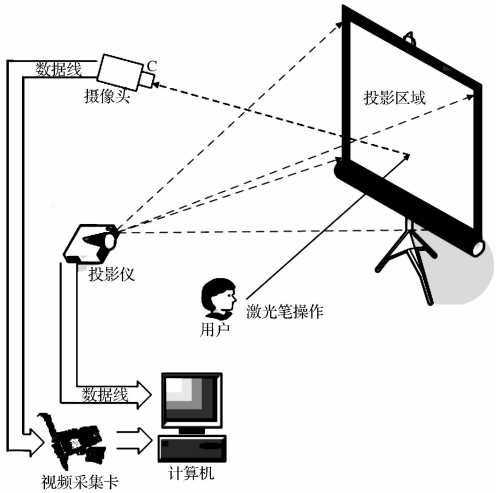


图1 系统设计图

面图像坐标系^[3]的转换。而快速、精确地实现这种坐标转换对于提高系统的实时性和稳定性具有重要作用。很多单目视觉系统中的定位算法都是在已知摄像头的参数情况下提出的,而在实际情况中,往往不能知道摄像头的相关参数,即使是有参数,但是这些参数的精确度并不能满足研究的需要。因此,需要快速地求出摄像头参数后进行坐标转换。本文采用的是一种在进行内参校正后通过仿射变换来实现坐标转换的算法。通过实验,取得较好效果。

2.1 坐标系

图2是单目视觉的定位变换模型,反映了三个坐标系之间的关系。

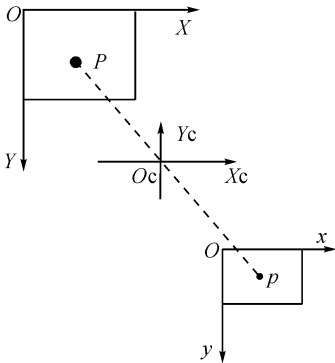


图2 单目视觉定位模型

a) 投影幕布坐标系 XOY

本文将投影幕布作为整个系统的世界坐标系。将幕布的左上假设为原点 O , 左边和下边分别为 Y 轴和 X 轴。

b) 摄像头坐标系 $X_cO_cY_c$

由点 O_c 与 X_c, Y_c 轴组成的直角坐标系称为摄像头坐标系, 点 O_c 为摄像机的光学中心, 光轴通过该中心, X_c-Y_c 平面与摄像头成像平面平行。

c) 屏幕坐标系 xoy

该坐标系即为计算机的屏幕坐标。将屏幕的左上假设为原点 o , 左边和下边分别为 y 轴和 x 轴。

单目定位模型的实现基于以下假设:

- a) 摄像机采用小孔模型^[4];
- b) 将三维坐标中表示深度的一维认为 0;
- c) 摄像机的图像畸变忽略不计。

2.2 畸变校正和标定

对于单目视觉的定位来说, 由于投影幕布的面积比较大, 从而会导致摄像头拍摄的图片的畸变更加严重。同时因为图像采集设备的性能差异以及摄像头位置发生变化, 都会导致图像的失真。因此需要对图像的畸变进行校正, 以恢复理想的场景和形状。在日常的实际的图像处理情况中, 由于拍摄角度的不同, 镜头和摄像机的畸变, 会导致像素之间的空间关系的变化, 使图像发生失真, 结果造成了实际物体与图像之间的差异。所以一种合适, 快速的标定方法, 对于提高系统的精确度和实时性是十分重要的。

通过实验和计算得到这些摄像机参数的过程, 称为摄像机的标定^[5]。摄像机的参数包括内参数和外参数。内参数是指摄像机的几何和光学参数, 主要有焦距、特征比、主点、畸变因子等。外参数是指摄像机相对于一个固定场景的运动或者物体围绕摄像机旋转的刚性运动。本文采用的是先通过 OpenCV 的标定程序^[6-7], 求出摄像机的内参数, 进行内参校正, 消除部分失真, 然后通过仿射变换进行角点校正和空间变换。

在完成内参校正后, 图像主要还存在倾斜形变和透视形变。通过四点的角点校正后, 将图像变换到与投影屏幕等比例的模板上如图3所示。从而完成最后的校正。

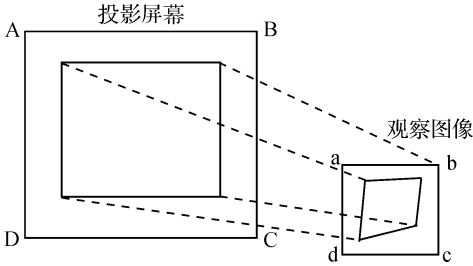


图3 投影屏幕与图像关系

角点校正算法流程如下:

- a) 假设图像点坐标 (X, Y) , 投影屏幕点坐标 (x, y) , 系数矩阵 $A = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ c_2 \ c_3]$, 已知 a, b, c, d 的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$, A, B, C, D 的坐标分别为 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4)$;

b) 运用高斯消元法,求解如下方程^[8]

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_1 * y_1 & -X_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_2 * y_2 & -X_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_3 * y_3 & -X_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_4 * y_4 & -X_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -Y_1 * y_1 & -Y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -Y_2 * y_2 & -Y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -Y_3 * y_3 & -Y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -Y_4 * y_4 & -Y_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 * x_1 \\ X_2 * x_2 \\ X_3 * x_3 \\ X_4 * x_4 \\ Y_1 * x_1 \\ Y_2 * x_2 \\ Y_3 * x_3 \\ Y_4 * x_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

求出矩阵 $[a_1 \ a_2 \ a_3 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ c_2 \ c_3]$;

c) 根据 $X = (a_1 * x + a_2 * y + a_3) / (x + c_2 * y + c_3)$ (2)

$Y = (b_1 * x + b_2 * y + b_3) / (x + c_2 * y + c_3)$ (3)

可以得到图像点恢复成投影屏幕点的坐标 (X, Y) 。

2.3 算法比较

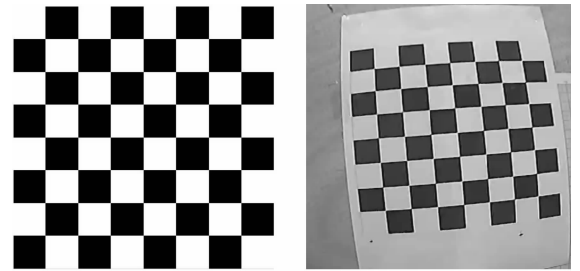
OpenCV 中采用的标定方法主要是张正友等人提出的使用平面模板的算法。该算法只要求从不同角度拍摄同一标定平面 2 幅以上的图像,就可以得出摄像机的内外参数,同时该方法不需要知道平面模板移动的具体方向和位移信息,并且平面模板的制作非常简单,因此这种方法特别适合于桌面机器视觉系统。但是 OpenCV 对张正友算法进行了优化,采用高斯-牛顿迭代法进行了 20 次迭代以及对全局参数进行了优化,这样就导致计算量过大,实时性下降了。同时标定板所在平面与成像平面的夹角、标定拍摄图片的数目以及角点的提取精度都将影响标定的准确度。因此本文在外参校正上采用角点校正的方法,从而在实时性和精确性上达到一个平衡。实验结果表明,采用角点校正方法可以有效提高系统的性能。

3 结果与讨论

3.1 摄像头标定

标定前,首先需要制作一棋盘图,用 A4 纸打印

出来,本文采用的棋盘顶点数为 7×7 ,每一个方格的大小相同($2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}$),如图 4(a)所示,实际拍摄的图片如图 4(b)所示。如图 5 所示,OpenCV 经过角点检测后,最后计算得到摄像头内参数。



(a) 棋盘图

(b) 实验拍摄图

图 4 棋盘图和实验拍摄图

求出摄像头的内参后,制作一幅靶标图如图 6 所示,其横向 14 个点,纵向 11 个点,通过投影仪将其投影到幕布,对摄像头采集的靶标图像(见图 7)进行内参校正。图 8 为内参校正后的靶标图。

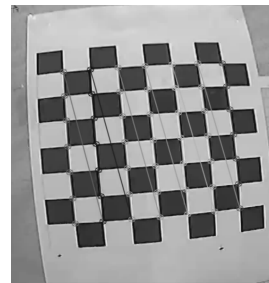


图 5 角点检测图

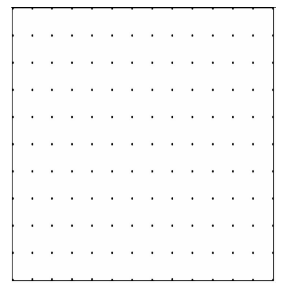


图 6 靶标图

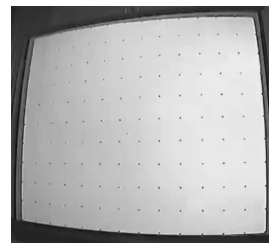


图 7 摄像头采集的靶标图

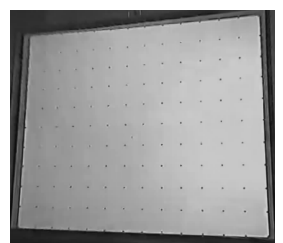


图 8 内参校正后靶标图

3.2 角点校正

四点角点校正具体步骤如下:

a) 将靶标图投影到幕布上,测量两点之间横向间隔为 12 cm,纵向间隔 12.2 cm。幕布长 120 cm,宽 156 cm。

b) 根据幕布的长宽比例,设定等比例模板大小为长 461 像素,宽 600 像素。

c) 将激光笔依次定位到幕布的四个角点,由程序自动识别光源点,并得出四个角点坐标。

d) 通过角点校正公式将四个角点映射到模板

的四个角点。

如图 9 所示, a, b, c, d 四点 是 图 像 的 四 个 角 点, a, B, C, D 是 模 板 的 四 个 角 点, a 点 作 为 模 板 的 原 点。由 程 序 得 到 a 坐 标 是 (82, 62), b 坐 标 是 (549, 15), c 坐 标 是 (574, 469), d 坐 标

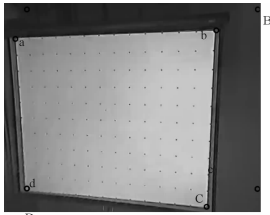


图 9 四点角点变换图

是 (52, 447), 单位像素。以 a 点 为 模 板 的 左 上 角, 建 立 长 461 像 素, 宽 600 像 素 的 模 板, 得 到 B 坐 标 是 (682, 62), C 坐 标 是 (682, 523), D 坐 标 是 (82, 523), 单 位 像 素。

3.3 结果比较和误差分析

为了 实 现 精 确 的 定 位 效 果, 采 用 靶 标 点 测 试 实 验, 对 内 参 校 正 后 靶 标 图 中 的 154 个 靶 标 点 按 行 依 次 从 左 往 右 进 行 图 像 点 比 例 和 幕 布 实 际 点 比 例 计 算, 最 后 进 行 误 差 分 析。

设 某 点 靶 标 点 的 图 像 坐 标 (x_i, y_i) , 四 点 角 点 变 换 图 中 a 点 图 像 坐 标 (x_0, y_0) , 模 板 长 L , 宽 H , 单 位 都 为 像 素, 横 向 比 例 为 α_i , 纵 向 比 例 β_i , 则 有

$$\alpha_i = \frac{x_i - x_0}{L}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 153 \quad (4)$$

$$\beta_i = \frac{y_i - y_0}{H}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 153 \quad (5)$$

靶 标 点 在 幕 布 的 实 际 排 列 情 况 是 任 意 两 点 之 间 横 向 和 纵 向 都 是 等 间 隔 的, 因 此 假 设 两 点 之 间 横 向 间 隔 e , 纵 向 间 隔 k , 幕 布 长 L , 宽 H , 单 位 cm , m 表 示 横 向 从 左 往 右 第 m 个 靶 标 点, n 表 示 纵 向 从 上 往 下 第 n 个 靶 标 点, 横 向 比 例 为 γ_i , 纵 向 比 例 η_i , 则 有

$$\gamma_i = \frac{em}{L}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 153 \quad (6)$$

$$\eta_i = \frac{nk}{H}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 153 \quad (7)$$

设 图 片 点 比 例 为 (α_i, β_i) , 实 际 点 比 例 为 (γ_i, η_i) , 模 板 长 L 像 素, 宽 H 像 素, 横 向 误 差 λ_i 像 素, 纵 向 误 差 μ_i , 则 有

$$\lambda_i = |\alpha_i - \gamma_i| * L, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 153 \quad (8)$$

$$\mu_i = |\beta_i - \eta_i| * H, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 153 \quad (9)$$

图 10 为 OpenCV 校 正 和 本 文 实 验 结 果 对 比, 图 11 和 图 12 分 别 为 x 和 y 方 向 的 校 正 前 后 坐 标 比 较。根 据 实 验 结 果 并 通 过 误 差 公 式 计 算 后, 横 向 和 纵 向 的 误 差 范 围 主 要 在 5 个 像 素 内, 极 个 别 在 5 到 10 个 像 素 之 间, 超 过 5 个 像 素 误 差 的 靶 标 点 主 要 是 横 向 的。

在 算 法 精 确 度 上, 由 于 OpenCV 校 正 需 要 多 张

图 片 才 能 获 得 比 较 好 的 效 果, 本 文 的 校 正 方 法, 在 一 张 图 片 的 情 况 下 还 是 可 以 取 得 比 较 理 想 的 效 果。同 时 本 文 的 方 法 在 操 作 上 也 比 OpenCV 方 便 快 捷。

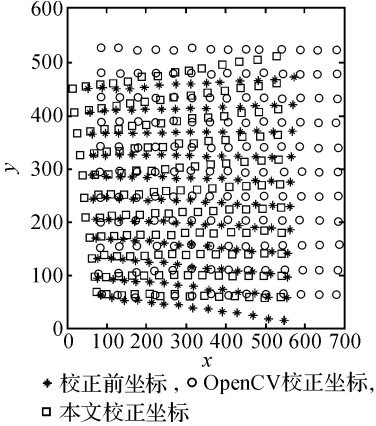


图 10 OpenCV 校正和本文实验结果对比

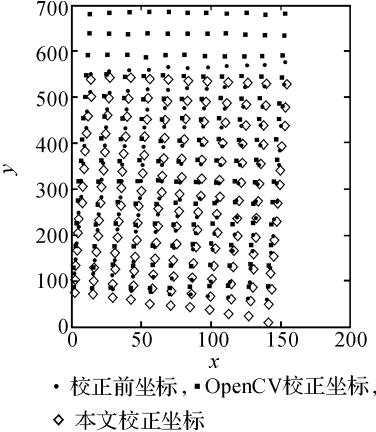


图 11 x 方向校正前后坐标比较

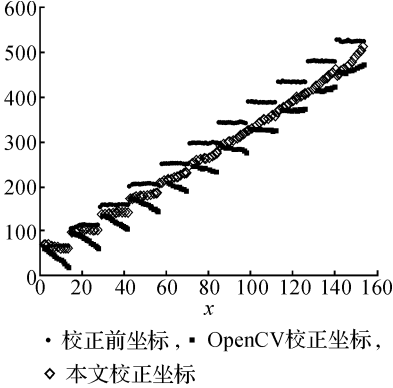


图 12 y 方向校正前后坐标比较

在 算 法 运 行 时 间 上, OpenCV 校 正 算 法 进 行 了 优 化, 因 此 导 致 计 算 量 过 大, 运 行 时 间 较 长, 校 正 154 个 靶 标 点 需 要 4 s 左 右, 平 均 每 个 点 校 正 的 时 间 为 0.026 s。本 文 的 标 定 方 法 由 于 只 涉 及 了 高 斯 求 解, 因 此 计 算 量 较 小, 实 时 性 能 满 足 系 统 要 求, 校 正 154 个 靶 标 点 需 要 2.5 s 左 右, 平 均 每 个 点 校 正 的 时 间 为 0.016 s。

误差的来源主要有以下几方面:

a) OpenCV 的内参求解算法在精确度上并不高,这样就为后续的实验引入了部分误差;

b) 在幕布上测量靶标投影点的实际坐标时,靶标点的大小是忽略不计的,这样在求解实际点比例是引入了误差;

c) 在图像内参校正时,对内参数的数据进行了简化。

但综合考虑,误差是在本文所研究系统的接受范围之内,满足系统的精确度和实时性要求的。因此,这是一种适合本系统的有效校正方法。

4 结 语

本文提出了基于单目视觉的电子白板定位系统。该定位系统由一个 CCD 摄像头、视频采集卡、PC 机、投影仪等组成,并通过 CCD 摄像头采集激光笔光源轨迹。研究了轨迹点定位原理与算法,然后采用内参校正和角点校正相结合的方法,实现光源点精确定位,最后进行了实验误差分析。本文中的定位技术与其它定位技术相比,具有成本低、快速、

简便和误差小等特点,适合实际应用和推广。

参考文献:

- [1] Tom Creed. PowerPoint No, Cyberspace Yes[J]. The National Teaching & Learning Forum, 1997, 6(4): 1-4.
- [2] 孟宪通. 交互式电子白板市场研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [3] 王思丽, 戴玉刚, 周 登, 等. 基于双目视觉的数码相机定位方法研究[J]. 长春工程学院学报, 2009, 10(2): 104-107.
- [4] Forsyth D A, Ponce J. Computer Vision: a Modern Approach[M]. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [5] 邱茂林, 马颂德, 李毅. 计算机视觉中摄像机定标综述[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 43-55.
- [6] 刘瑞祯, 于仕琪. OpenCV 教程基础篇[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [7] intel 开源计算机视觉库 OpenCV. OpenCV 概述[EB/OL]. OpenCV 中文网站, [2010-04-16]. <http://www.opencv.org.cn>.
- [8] c/c++讨论群. 积木网[EB/OL]. [2009-04-07]. <http://group.gimoo.net/review/3561?pg=20>.

Positioning Technology of a Whiteboard Based on Computer Vision

WANG Gang, ZHANG Hua-xiong, HU Jie

(School of Informatics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Whiteboards are increasingly being used in education with the development of information technology. This paper presents a computer vision-based whiteboard positioning technology. Video images are obtained for internal reference point correction and angle correction to achieve mapping transformation between the world coordinate system and the image coordinate system. Finally, the system captures the location of the light point on the screen. The proposed method is fast, reliable, and efficient.

Key words: distortion correction; electronic whiteboard; monocular vision; position; coordinate

(责任编辑: 陈和榜)