

机器视觉电子白板系统的防抖与坐标插值技术

周祖微*, 刘 森, 王忆文, 李 辉

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 成都 610054)

(* 通信作者电子邮箱 xiaowei8710@163.com)

摘 要:在基于机器视觉的电子白板系统应用中,为了消除各种因素导致的触控点抖动,提出了一种改进的均值滤波的防抖方法。为了突破硬件设备的限制提高系统工作的流畅性,采用了一种基于曲线拟合的坐标插值方法来提高系统实时性并平滑处理触控点的运动轨迹。实验结果表明:触控点的抖动情况得到了消除,在摄像头最高工作频率 60 fps 的情况下,系统能以每秒输出 180 个触控点坐标的速度实时工作,在不增加硬件成本的情况下提高了系统实时性。

关键词:机器视觉;人机交互;防抖;坐标插值;实时性

中图分类号:TP37 **文献标志码:**A

Anti-shake and coordinate interpolation techniques in machine vision electronic whiteboard system application

ZHOU Zu-wei*, LIU Sen, WANG Yi-wen, LI Hui

(State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices,

University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

Abstract: In the electronic whiteboard system based on machine vision, an improved mean filter was proposed to eliminate touching-point jitter. In order to enhance the working fluency without hardware restrictions, a coordinate interpolation based on curve-fitting was adopted to improve the real-time performance of the whole system and smooth the trajectory of moving touching-point. The experimental results show that: on one hand, touching-point jitter can be eliminated. On the other hand, the system can output 180 touching-point coordinates per second when the camera works at its highest speed of 60 frame per second. The real-time performance of the whole system gets effectively improved without any new hardware cost.

Key words: machine vision; human-computer interaction; anti-shake; coordinate interpolation; real-time performance

0 引言

交互式电子白板是随着信息技术、多媒体技术等的发展而兴起的一种替代传统白板的新型多媒体工具,在教学领域有着广泛的应用。电子白板是在传统白板上附加电子设备与相关软件,通过对白板平面的触控实现人机交互功能^[1]。在目前众多电子白板实现方式中,最有发展前景的是基于机器视觉的电子白板。这种电子白板定位准确,识别速度快,适应性强,成本低,可以在不同面积的设备上使用^[2]。其工作原理是通过红外摄像头及图像传感器接收白板平面图像,由相关设备进行图像采集、图像处理,最终得到触控点信息^[3]。由于受外部环境因素、触控点接触白板屏幕的角度和图像处理本身可能存在的误差的影响,经图像处理得到的触控点坐标信息可能会存在抖动,使得触控点运动轨迹的平滑程度受到影响。另一方面由于摄像头拍摄速度以及硬件系统处理速度的制约,实时性的提高受到限制,系统灵敏度将受到影响。为此,本文针对基于机器视觉的电子白板这一应用,提出了一种能有效进行防抖和提高系统实时性的坐标数据处理方法。

1 机器视觉电子白板系统工作原理

基于机器视觉电子白板的系统工作示意图如图 1 所示。

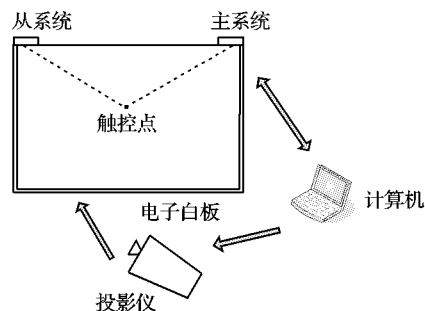


图 1 机器视觉电子白板系统工作示意图

从图 1 中可知,该系统主要由普通的矩形白板,白板左右上角分别安装的主、从系统,计算机和投影仪构成^[4]。白板左、右上角的主从系统硬件组成相同,主要由红外摄像头,给摄像头补光的红外发光二极管和单片机处理系统构成。白板的左、右以及下边框都贴有反射膜,用来反射红外光线。每个摄像头都对准并扫描白板平面以使其视野角能够覆盖白板平面的边缘。红外发光二极管发射的红外线照射到反射膜后反

收稿日期:2012-07-02;修回日期:2012-08-16。

基金项目:广东省教育部产学研合作项目(201013090400345);2010 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目。

作者简介:周祖微(1987-),女,湖南永州人,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理、片上系统设计; 刘森(1986-),男,四川泸州人,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统; 王忆文(1966-),男,辽宁沈阳人,教授,博士,主要研究方向:SOC/SOPC 的设计与测试、可测性设计; 李辉(1974-),男,安徽宁国人,讲师,博士,主要研究方向:音频数字信号处理及其 VLSI 实现、片上系统设计。

射到摄像头,当没有物体接触白板时,在拍摄到的图像中出现一条亮带,当有物体触摸白板时就会挡住光线的传播路径,这样采集到的图像中亮带上出现物体的阴影。

启动系统后,通过投影仪将计算机的屏幕图像投影到白板平面上。白板左、右上角的主从系统分别对白板平面的图像进行监测并处理。从系统将图像处理结果发送至主系统,主系统进行综合处理确定触控点在白板上的坐标,并且通过白板系统坐标系与计算机屏幕坐标系的映射关系^[5-6]计算出触控点映射在计算机屏幕上的坐标信息,然后将坐标信息通过人机接口设备(Human Interface Device, HID)协议以鼠标信息格式或者触摸屏信息格式发送至计算机。计算机实现触控操作,并实时地通过投影仪在白板平面上显示出来,达到通过触控白板平面操作计算机屏幕的目的。

2 坐标数据处理方案研究与实现

通常的触控系统坐标数据处理,大部分主要是采取滤波的方式,如均值滤波^[7-8]、中值滤波^[9]和加权滤波^[10]等。这些方法实现简单,但是由于数据间采用的是线性关联处理方式,在触控点运动时容易产生较大的误差,尤其是在图像处理计算出来的点与实际点坐标偏差较大时,误差尤为明显。

本文提出了一种新型的区分触控点运动状态来进行数据处理的方法,当触控点静止不动时采用改进的均值滤波的方法来消除抖动点;当触控点连续运动时,对其坐标进行数据拟合,通过模拟触控点的运动曲线使触控点轨迹平滑化,并且在模拟曲线的基础上进行插值。通过此方法不仅能消除抖动,还能在不增加硬件成本的情况下提高系统实时性。

2.1 触控点运动状态的判断

系统开始工作后,实时地保存连续5个触控点的坐标,分别记为: $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4)$ 和 (X_5, Y_5) ,其中 (X_1, Y_1) 为当前摄像头图像经图像处理得到的触控点坐标, (X_2, Y_2) 为上一帧图像中触控点的坐标,依此类推。

当这5组坐标都不为零,即连续5帧都有目标存在时,计算这5个触控点之间的间距 $D_{i-j} (1 \leq i \leq 5, 1 \leq j \leq 5)$, D_{i-j} 表示第 i 个触控点与第 j 个触控点之间的距离,如果5个触控点彼此之间的间距 D_{i-j} 都小于阈值1,则判断触控点处于静止状态。如果相邻两个触控点的间距 D_{i-i+1} 都大于阈值1,则判断触控点处于连续运动状态。根据摄像头的工作频率和大量的实验数据统计,确定出最佳的阈值取值。

2.2 防抖算法的实现

对于静止在白板平面的触控点,本文采用改进的均值滤波方法对触控点坐标信息进行处理来消除触控点的抖动现象。

对保存的5组触控点坐标取平均值,并且将得到的坐标均值与上一帧图像经防抖操作得到的坐标均值做对比。如果二者的差值小于阈值2,将上一帧防抖后的坐标均值更新为本帧坐标均值,并作为当前触控点坐标发送至计算机;如果差值大于阈值2,则直接将本帧的坐标均值作为当前触控点坐标发送至计算机。通过实验统计能得到最好防抖效果的阈值2。

2.3 拟合插值算法实现

对于连续运动的触控点本文采用了数据拟合的方法来实现平滑处理和坐标插值,由此来达到平滑运动轨迹和提高系统实时性的目标。

设定拟合方程为:

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

采用最小二乘法^[11]来求解拟合方程,使拟合曲线与保存

的5个触控点坐标的纵向距离平方和最小,其算法实现即求函数:

$$S(a, b, c) = \sum_{k=1}^5 [(aX_k^2 + bX_k + c) - Y_k]^2 \quad (2)$$

的最小值点。由函数 $S(a, b, c)$ 对拟合方程三个系数 a, b, c 求导数得下列三个方程:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{k=1}^5 [(aX_k^2 + bX_k + c) - Y_k] X_k^2 \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{k=1}^5 [(aX_k^2 + bX_k + c) - Y_k] X_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 2 \sum_{k=1}^5 [(aX_k^2 + bX_k + c) - Y_k] \quad (5)$$

令式(3)~(5)等于零,得到拟合方程的正规方程组:

$$\begin{cases} 5c + b \sum_{k=1}^5 X_k + a \sum_{k=1}^5 X_k^2 = \sum_{k=1}^5 Y_k \\ c \sum_{k=1}^5 X_k + b \sum_{k=1}^5 X_k^2 + a \sum_{k=1}^5 X_k^3 = \sum_{k=1}^5 X_k Y_k \\ c \sum_{k=1}^5 X_k^2 + b \sum_{k=1}^5 X_k^3 + a \sum_{k=1}^5 X_k^4 = \sum_{k=1}^5 X_k^2 Y_k \end{cases}$$

然后,通过高斯求解正规方程组计算出拟合方程系数。

将当前帧触控点的横坐标 X_1 代入拟合方程(式(1))得到拟合纵坐标 $f(X_1)$,由此即可得到平滑处理后的当前触控点坐标 $(X_1, f(X_1))$ 。

求解出数据拟合曲线方程后,根据曲线方程在当前触控目标和上一个触控目标之间通过插值虚拟出两个触控目标,其坐标分别为 $((X_1 + X_2)/2, f((X_1 + X_2)/2))$ 和 $((3X_1 + X_2)/4, f((3X_1 + X_2)/4))$ 。由此触控点在运动时白板系统获得的触控点坐标个数为插值前的3倍。

基于机器视觉电子白板系统坐标数据处理(包括防抖和拟合插值)的整体流程如图2所示。

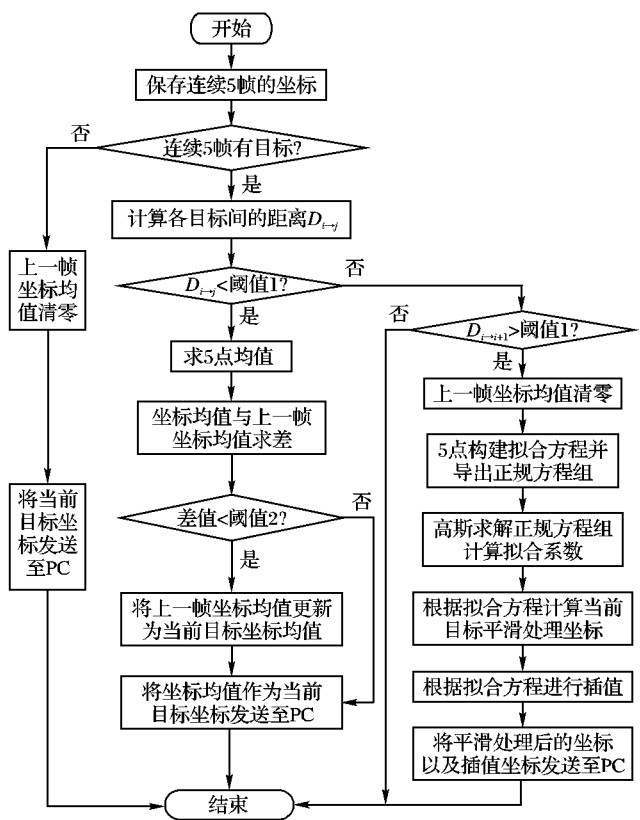


图2 数据处理整体流程

3 测试环境及测试结果

在计算机上通过 VC++6.0 编写上位机程序来读取白板系统发送至计算机的触控点坐标,将上位机界面背景设置为全屏无标题栏窗口,上位机读取触控点坐标信息并且在上位机界面的相应位置以黑色小方块的形式显示触控点。由此,可以清楚地看到触控点的运动轨迹。

3.1 防抖测试

图 3 所示为笔尖接触白板平面并保持不动,晃动笔身得到的触控点轨迹图,图 3(a) 为没有进行防抖操作的触控点轨迹;图 3(b) 显示的触控点轨迹为通过均值滤波方法得到的防抖动效果图,在晃动笔身时存在一些抖动点;图 3(c) 显示的触控点轨迹为利用本文提出的改进的均值滤波方法进行防抖的效果图,抖动点得到了很好的消除。

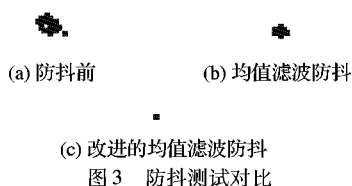


图 3 防抖测试对比

3.2 拟合插值测试

图 4 为手指在白板平面滑动所得到的触控点轨迹。本系统采用的摄像头为 OmniVision 公司开发的 OV7740,受摄像头最高工作频率 60 fps^[12] 的限制,如果不作插值系统最多每秒能输出 60 个点的坐标,实时性较差。

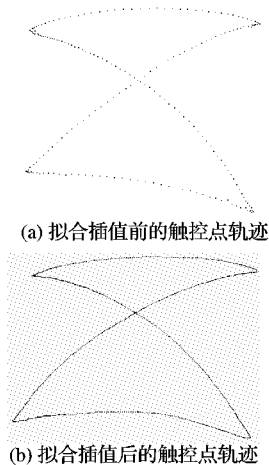


图 4 拟合插值测试对比

从图 4(a) 可以看到触控点的轨迹相当稀疏;而经过拟合插值处理后实时性达到了每秒输出 180 个点的坐标,从图 4(b) 上可以看出拟合插值处理后的轨迹平滑程度和连续性都得到了很好的改善,提高了系统实时性。

4 结语

针对基于机器视觉电子白板系统坐标数据存在的抖动现象和实时性受硬件器件限制的问题,本文提出了一种区分触控点运动状态进行的坐标防抖和提高系统实时性的坐标数据处理方法,在触控点静止时进行防抖动,而在触控点运动时进行拟合插值。实验结果表明,利用该方法能有效消除坐标抖动,系统实时性达到了摄像头最高工作速度的 3 倍。本文采用的数据拟合的坐标插值方法突破了硬件设备对实时性的限制,利用低帧率的摄像头和低速单片机即可满足基于机器视觉的电子白板系统实时性要求,降低了硬件成本。

参考文献:

- [1] 王国防. 基于机器视觉的电子白板系统研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2008.
- [2] 孟宪通. 交互式电子白板市场研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [3] GERALD M, HOLMGREN D. Camera-based touch system: USA 2005/0077452 A1[P], 2005.
- [4] GERALD M, MANVINDER S. Passive touch system and method of detecting user input: USA 7236162 B2[P], 2007.
- [5] 黄小辉, 张兴超, 刘献忠. 交互式电子白板的坐标转换算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(20): 259-261.
- [6] 王丁, 闫瑶, 张廷宇. 触摸屏校准的一种通用算法[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(2): 116-117, 129.
- [7] 龚丽娟, 陆以勤, 吕锦. 触摸屏数据处理算法研究及实现[J]. 微计算机信息, 2006, 22(26): 130-132.
- [8] 杨自峰, 赵建业. 汉王手写芯片的触摸屏控制器应用设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2007, 7(6): 39-41, 45.
- [9] 陈勇, 蒋康康, 吕霞付. 触摸屏驱动设计与坐标数据处理[J]. 数字通信, 2011, 38(1): 79-82.
- [10] 罗佳佳, 景晓军, 孙松林. 红外式触摸手写白板应用技术的核心技术[J]. 自动化技术与应用, 2010, 29(2): 51-53, 66.
- [11] 钟尔杰, 黄廷祝. 数值分析. 北京[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 138-147.
- [12] OmniVision Technologies Inc. OV7740 Datasheet. 2008[EB/OL]. [2012-05-20]. <http://www.ovt.com/support/datasheet.php>.

(上接第 3384 页)

- [4] 郭红伟. 基于频谱边缘检测的运动模糊方向精确估计[J]. 计算机应用, 2012, 32(3): 770-772, 776.
- [5] PARK J, KIM M, CHANG S, et al. Estimation of motion blur parameters using cepstrum analysis[C]// ISCE 2011: IEEE the 15th International Symposium on Consumer Electronics. New York: IEEE, 2011: 406-409.
- [6] 郭永彩, 郭瑞瑞, 高潮. 运动模糊图像点扩展函数的参数鉴别[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(5): 1052-1056.
- [7] MOGHADDAM M E, JAMZAD M. Motion blur identification in noisy images using mathematical models and statistical measures[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(7): 1946-1957.
- [8] MOGHADDAM M E, JAMZAD M. Linear motion blur parameter estimation in noisy images using fuzzy sets and power spectrum[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2007, 2007

(1): 1-8.

- [9] MOGHADDAM M E, JAMZAD M, MAHINI H R. Motion blur identification in noisy images using feed-forward back propagation neural network[C]// IWICPAS 2006: The International Workshop on Intelligent Computing in Pattern Analysis/Synthesis. Berlin: Springer, 2006: 369-376.
- [10] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. 数字图像处理[M]. 2 版. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 206-207.
- [11] 于殿泓. 图像检测与处理技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006: 155-158.
- [12] CHAUDHURI D, SAMAL A. A simple method for fitting of bounding rectangle to closed regions[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(7): 1981-1989.