

激光虚拟键盘的设计与实现

蔡睿妍

(大连大学信息工程学院, 辽宁 大连 116622)

摘要:随着计算机技术的发展和移动设备的普及,传统的机械式键盘已经不能够满足用户的需要,本文基于激光投影、红外激光定位和图像分析技术,提出了激光虚拟键盘系统的设计,阐述了其工作原理,建立了实验系统,验证了系统的可靠性和稳定性,实验证明,该系统不仅可以应用到移动设备中,也可以应用到医疗和工业控制领域。

关键词:虚拟键盘;激光投影;图像处理;目标检测与跟踪

中图分类号:TN219 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.08.007

Design and realization of laser virtual keyboard

CAI Rui-yan

(Information and Engineering College of Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: With the development of computer technology and the popularity of mobile devices, traditional mechanical keyboard can no longer meet the needs of various users. This paper presents the design scheme of a laser virtual keyboard based on laser projection, infrared laser positioning and image analysis techniques. Its working principle is introduced. Experimental system is built. The reliability and stability of the system are verified. This system could not only be applied to mobile devices, but also be applied to the medical and industrial control fields.

Key words: virtual keyboard; laser projection; image processing; target detection and tracking

1 引言

随着计算机技术的发展和普及,键盘作为计算机的重要输入设备,一直以来扮演着不可替代的角色。无论是数据的输入,还是控制信号的发送,都离不开键盘。并且,在可预见的相当一段时期内,键盘的作用都是不可或缺的。然而,传统键盘体积庞大、携带不便,无法满足移动终端对输入设备的需求,因此需要设计一款具有体积小、便于携带、操作方便的虚拟键盘设备,来代替传统的机械式键盘,该虚拟键盘设备需要满足:①高亮度,可以在正常室内照明环境下,显示出清晰的键盘图像;②高稳定性和安全性,可长时间稳定运行,不会对人体造成伤害;③低成本,便于推广这三个方面的要求,从而替代传统的机械式键盘。

激光光源具有单色性好、方向性强、亮度高等特点^[1],因此本文基于激光投影、红外激光定位和图像分析技术,设计了激光虚拟键盘系统,说明了激光虚拟键盘的结构和工作原理,在此基础上,建立了实

验系统,验证系统的精度、实时性和稳定性,实验证明,激光虚拟键盘完全可以替代机械式键盘作为计算机和移动设备的输入装置。

2 激光虚拟键盘结构和工作原理

激光虚拟键盘主要由键盘图像投影模块、红外图像采集模块和红外激光定位系统三部分构成,如图1所示。

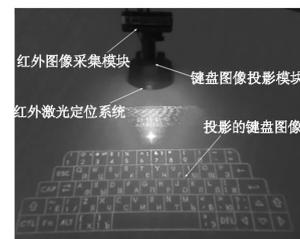


图1 激光虚拟键盘结构

作者简介:蔡睿妍(1979-),女,硕士,讲师,主要从事激光技术、图像处理等方面的研究。E-mail:cairuiyan@dlu.edu.cn

收稿日期:2012-03-06;**修订日期:**2012-03-30

在任意漫反射表面,通过红色波段的激光器透射刻有键盘图像的光栅,投影出电脑键盘图像,当用户“点击”投影出的键盘图像的某个按键时,通过红外摄像机捕捉键盘图像区域内的图像信息,利用图像处理技术识别出“点击”动作发生的位置坐标,然后将上述坐标转换成键盘平面的正交坐标系的位置信息,确定按键命令,实现与机械式键盘同样的功能,工作流程如图2所示。

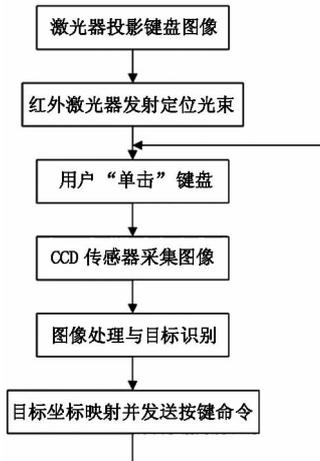


图2 激光虚拟键盘工作流程

2.1 图像的采集

图1中,设置红外图像传感器采集范围覆盖整个键盘投影区域。虚拟键盘下端设计有红外激光定位系统,能够发出平行于投影表面的激光束,当手指触碰到键盘投影表面的时候,手指会阻断激光器发出的激光束,并在指尖位置形成激光束反射,如图3所示。

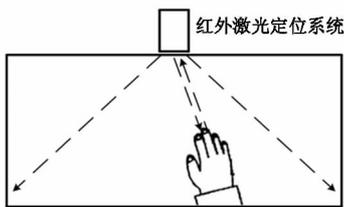


图3 “单击”动作的检测

此时指尖的亮度会高于其他没有形成反射部分的亮度,通过红外摄像机对图像进行采集,作为键盘“点击”识别的原始数据。

2.2 图像处理与目标检测

要确定用户“单击”键盘的坐标,就必须对红外图像传感器采集到的图像进行处理,处理的结果应该是每个“单击”目标的轮廓以二值图像的形式清晰地显示出来,要求其外部边缘应为八邻域方向单像素连通的闭合边缘曲线,并且图像区域的噪声被有效地去除。

图像边缘是图像的基本特征,包含目标的重要信息,因此在图像处理之后,通过目标识别算法对目标边缘进行提取、拟合并获得每个目标的位置坐标,经过坐标变换后映射到对应的键盘按键上,发送指令,实现键盘操作。

2.2.1 RGB 图像转换为灰度图像

从标准 CCD 采集来的图像包含有 R, G, B 三个通道的数据,也就是传统概念所说的彩色图像,基于图像处理和目标识别的需要,首先将 RGB 彩色图像转换成灰度图像,如式(1)所示^[2]:

$$\text{Gray}(i, j) = 0.3R(i, j) + 0.59G(i, j) + 0.11B(i, j) \quad (1)$$

其中, $\text{Gray}(i, j)$ 表示位置为 (i, j) 的像素点对应的灰度值,范围为 $(0 \sim 255)$, $R(i, j), G(i, j), B(i, j)$ 分别表示彩色图像中 R, G, B 通道 (i, j) 位置的像素值。

2.2.2 噪声消除

由于 CCD 传感器本身的电荷累计噪声和环境光线的噪声,会在图像中引入噪声,从而降低识别的精度,为了消除这些噪声,采用空域滤波的图像处理方法。图像空域滤波主要是采用模板卷积的方式实现的,主要步骤为:①将模板在图像中移动,并将模板中心与图像中某个像素位置重合;②将模板上的系数与模板下对应像素相乘;③将所有乘积相加;④将和(模板的响应函数)赋给图像中对应模板中心位置的像素。在综合考虑噪声的类型后,本文采用 3×3 的模板对图像进行滤波运算^[3],式(2)表示为模板的输出响应函数。

$$R(i, j) = 1/9 \times [k_0s(i-1, j-1) + k_1s(i-1, j) + k_2s(i-1, j+1) + k_3s(i, j-1) + k_4s(i, j) + k_5s(i, j+1) + k_6s(i+1, j-1) + k_7s(i+1, j) + k_8s(i+1, j+1)] \quad (2)$$

其中,系数 k_0, k_1, \dots, k_8 可用模板参数矩阵式(3)表示:

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2.3 图像的阈值化与形态学处理

在完成上述处理步骤之后,需要对图像中的像素做出决策,或者直接剔除一些低于或高于一定值的像素,突出目标的位置和形态,此时需要对图像进行阈值化处理^[4],即给定一幅图像和一个阈值,然后根据图像中每个元素的值是高于还是低于阈值而

对其进行如下处理:

$$Dst(i, j) = \begin{cases} 255 & (src(i, j) \geq th) \\ 0 & (src(i, j) < th) \end{cases} \quad (4)$$

式中, $Dst(i, j)$ 表示阈值化处理后的 (i, j) 点的像素坐标, 当满足条件 $src(i, j) \geq th$, 即源图像 (i, j) 像素点的值 $src(i, j)$ 大于等于阈值 th 时, 该点的像素值设为 255, 反之, 设其为 0。

阈值化处理之后的图像, 目标的位置和形态比较突出, 但存在着一些与目标识别不相关的细节, 例如: 目标轮廓不光滑、存在细小的空洞、位置较近的目标之间存在狭窄的连通等。图像形态学方法进行图像处理具有简化图像数据、保持图像基本形态特征、去除不相干结构等、平滑目标等优势, 在图像分割、特征提取、纹理分析等图像处理领域有着广泛的应用^[5-6]。因此, 本文采用图像形态学处理中的的开运算与闭运算来消除不相关的细节。

首先定义 A 为图像矩阵, B 为结构元素矩阵, A, B 为 Z^2 上的集合, 图像 A 被结构 B 腐蚀的定义为:

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (5)$$

其中, x 是一个表示集合平移的位移向量; \ominus 是腐蚀运算的运算符。

设 Φ 为空集, 图像 A 被结构元素 B 膨胀的定义为:

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \Phi\} \quad (6)$$

其中, x 是一个表示集合平移的位移向量; \oplus 是膨胀运算的运算符。

在定义图像矩阵和结构元素矩阵的腐蚀与膨胀运算之后, 将结构元素 B 对目标图像 A 的开运算定义为:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (7)$$

其中, \circ 为开运算操作符。

将结构元素 B 对目标图像 A 的闭运算定义为:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (8)$$

其中, \bullet 为闭运算操作符。

开运算使目标的轮廓变得光滑, 断开狭窄的尖端和消除细小的突出物; 闭运算在使轮廓光滑的同时, 消弥狭窄的尖端和细长的鸿沟, 消除小的空洞, 并填补轮廓线中的断裂。

图 4 中, 图 4(a) 是红外摄像机拍摄的用户“单击”投影键盘区域, 采集到图像经过滤波处理后的效果, 图 4(b) 是阈值化和形态学处理后的效果, 可见, 阈值化和形态学处理之后的图像中, 目标完整、清晰, 轮廓光滑, 能够满足目标识别的要求。



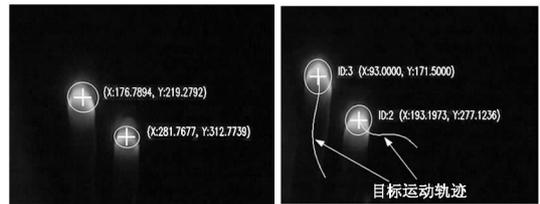
(a) 滤波后图像 (b) 阈值化和形态学处理后的图像
图 4 阈值化和形态学处理前后图像对比

2.2.4 目标的检测与跟踪

在理想的目标阈值化图像基础上, 想要获得每个目标的特征信息, 例如: 轮廓像素数、各个像素点的位置、质心坐标等信息, 需要进行目标检测, 本文通过以下三个步骤实现目标检测:

- (1) 确定图像中的连通域, 获得每个连通域的轮廓序列位置坐标信息;
- (2) 采用最小二乘法对每个目标的轮廓以椭圆曲线的形式拟合;
- (3) 计算每个拟合椭圆的质心坐标。

图 5 中, 图 5(a) 显示为经过目标识别处理后, 用椭圆显示的是最小二乘法拟合的目标轮廓, “十字线”表示的是目标的质心点, 括号内标注的是质心点的坐标。在获得每个目标的坐标之后, 需要对每个目标的运动状态在时间序列上进行标记, 使每个目标从产生到销毁, 对应唯一 ID, 实现目标的跟踪。



(a) 目标检测结果 (b) 目标的运动轨迹

图 5 目标检测与跟踪

2.2.5 坐标系映射

从图像中获取目标的坐标是建立在图像坐标系空间的, 而投影的键盘图像是建立在世界坐标系空间的, 需要进行坐标变换, 将其映射到投影键盘的坐标系, 才能将“单击”事件转换成键盘输入指令, 变换过程如式(9)所示^[7]:

$$x' = H_A x = \begin{bmatrix} A & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} x \quad (9)$$

其中, A 为 2×2 非奇异像素坐标旋转矩阵; t 为 2×1 的像素坐标平移向量; A 与 t 由原图像和变换后图像边缘角点坐标求解; x' 为转换后像素坐标; x 为转换前像素坐标。最后将图像中的每个键盘按键键位对应的坐标以软件方式标记, 当键盘区域内有“点击”事件存在的时候, 判断该“点击”事件坐标对应的键盘区域的坐标位置, 然后向计算机传输该按键

消息,实现键盘的输入。

3 实验

3.1 实验系统构成

键盘投影模块采用 600 nm 的红色光激光器透射光栅的方式显示键盘图像。首先将键盘的图像采用光刻技术雕刻到圆形的光栅上,然后将光栅安装在激光器的前端,当该激光器以一定角度向桌面照射的时候,就会清晰的显示出键盘图像。实验中键盘投影尺寸设定为 300 mm × 100 mm;键盘投影图像距离 60 mm,室内照明条件为 <700 lx。

由于键盘的操作需要较强的实时性和较高的精度,因此,红外图像采集系统采用 1/2 in 的 CCD 传感器,图像分辨率为 640 × 480,帧率为 30 f/s。CCD 传感器响应的光谱范围宽,包含紫外、可见光和红外波段,在传感器的前端加装红外窄带滤波晶片,其通过带宽不大于 20 nm,这样可以有效地过滤其他波段的光线进入图像采集模块,抑制环境光线(以可见光为主)对系统的干扰,实现精确的“点击”事件检测与识别。

红外激光定位模块由部署在激光虚拟键盘设备底端的红外波段激光器和“一字线”光栅镜头组成^[8],激光器发射波长为 850nm 点状光源,经过光栅调制,形成发散角为 120°,厚 2 mm 的线状激光光束,贴近键盘图像所投影的表面,且发出的线状光束与投影表面平行,覆盖整个投影图像的范围。

3.2 实验结果

为了验证激光虚拟键盘的实用性、可靠性,实验中每分钟键盘的“单击”次数不低于 200 次。在正常室内照明的情况下,准确率及精度如表 1 所示。可见,该虚拟键盘的响应速度和响应精度完全能够满足计算机输入设备的需要,可以代替传统键盘。

表 1 激光虚拟键盘在不同时长的测试结果

序号	实验时间/s	光照条件/lx	点击次数	点击准确率/%	精度(均值)/mm
1	60	500	210	96	2.32
2	120	500	422	95	2.15
3	200	500	719	95	1.99
4	240	500	861	94	2.01
5	300	500	1102	95	2.13
6	500	500	1855	96	2.08
7	700	500	2509	95	2.17
8	1000	500	3653	93	2.22

4 结论

基于红外激光检测与定位的思想,叙述了激光

虚拟键盘的设计结构与工作原理,阐述了从图像采集、图像处理到目标识别与坐标映射的方法,在此基础上,建立了实验系统。实验结果表明,激光虚拟键盘能够在正常的室内环境中,实现高效、准确的文字输入和控制信号发送,可以全部实现传统键盘的功能,且其便携性优于传统键盘。

参考文献:

- [1] Zhang Yue, Hao Li, Liu Hua, et al. Principle and realization of laser display technique [J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(3): 402 - 405. (in Chinese)
张岳,郝丽,柳华,等. 激光显示的原理与实现[J]. 光学精密工程, 2006, 14(3): 402 - 405.
- [2] Liu Qingxiang, Jiang Tianfa. A study of translation arithmetic between color image and grey image [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2003, 27(3): 344 - 346. (in Chinese)
刘庆祥,蒋天发. 彩色与灰度图像间转换算法的研究[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版, 2003, 27(3): 344 - 346.
- [3] Wang Hongmei, Li Yanjun, Zhang Ke. An image filtering algorithm based on extremum detection [J]. Laser & Infrared, 2007, 37(10): 1117 - 1119. (in Chinese)
王红梅,李言俊,张科. 基于极值检测的图像滤波算法[J]. 激光与红外, 2007, 37(10): 1117 - 1119.
- [4] Liang Huawei. Direct determination of threshold from bimodal histogram [J]. PR & AI. 2002, 15(2): 253 - 256. (in Chinese)
梁华为. 直接从双峰直方图确定二值化阈值[J]. 模式识别与人工智能, 2002, 15(2): 253 - 256.
- [5] Wang Huifeng, Zhan Guili, Luo Xiaoming. Research and application of edge detection operator based on mathematical morphology [J]. Computer Engineering and Application, 2009, 45(9): 223 - 226. (in Chinese)
王慧峰,战桂礼,罗晓明. 基于数学形态学的边缘检测算法研究及应用[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9): 223 - 226.
- [6] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital image processing [M]. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [7] Richard Hartley, Andrew Zisserman. Multiple view geometry in computer vision [M]. Oxford: Cambridge University Press, 2004.
- [8] Kurt Konolige, Joseph Augenbraun, Nick Donaldson, et al. A low-cost laser distance sensor [C]. Pasadena, CA, USA, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008.