

手指书写:一种虚拟文字识别人机交互新方法

金连文¹,徐睿¹,杨端端¹,镇立新²,黄建成²

(1. 华南理工大学电子信息学院,广东广州 510641; 2. Motorola 中国研究中心,上海 210002)

摘要: 本文提出了一种全新的手指书写虚拟文字识别系统,该系统利用摄像头捕捉人手指的运动轨迹,通过手指跟踪及检测算法,恢复出手指虚拟“书写”文字的二维图像数据(称之为虚拟文字),再进行识别输出。文中对单层函数连接神经网络进行改进并用来进行高准确度的运动手指尖的预测及跟踪,给出了一种基于数学形态学及模板匹配的简单有效的手指检测方法,提出了基于运动手指跟踪的“虚拟文字”恢复方法。实验结果表明:系统方案可行,手指跟踪及检测准确率高,对手指“书写”的数字、英文等虚拟文字识别率能达到95%以上。

关键词: 手指书写; 虚拟文字识别; 字符识别; 人机交互; 手指跟踪

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2007)03-0396-06

Finger Writing: A Novel Virtual Character Recognition HCI Approach

JIN Lian-wen¹, XU Rui¹, YANG Duan-duan¹, ZHEN Li-xin², HUANG Jian-cheng²

(1. College of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Sichuan 510641, China;

2. China Research Center, Motorola (China) Electronics LTD, Shanghai 210002, China)

Abstract: A virtual character recognition system based on finger tracking is proposed. By capturing the finger movement with a digital camera and tracking the finger-tip position automatically, the 2-D character image (virtual character trajectory) “written” by finger-tip is reconstructed and recognized. A modified flat functional link neural network is used to predict and track the moving position of the finger-tip. A mathematical morphology and template matching based finger-tip detection approach is proposed, and an algorithm to reconstruct and recognize the virtual character is given. Experiments show that the proposed system works very well with high finger tracking and detection accuracy, and achieves more than 95% accuracy rate for virtual digital and English letters recognition.

Key words: finger writing; virtual character recognition; character recognition; human machine interaction; fingertip tracking

1 引言

计算机软硬件技术及嵌入式高科技产品的飞速发展对智能化人机交互接口(Human Computer Interaction, HCI)技术提出了更新更高的要求。传统的人机交互方法主要通过键盘、鼠标等设备来完成,但对移动电话、掌上电脑等许多设备而言,由于键盘大小和键的数量限制,通过键盘等设备来进行人机交互(例如进行文字输入)显得效率不高,例如手机短信息业务的发展非常迅速,但文字输入一直是个瓶颈。利用联机手写体识别技术,在触摸屏上进行手写文字输入是一种较好的非键盘人机交互方式,但由于许多移动设备(如手机)受体积大小的限制,书写区域十分有限,使用起来并不十分方便,文字输入效率远远不够高。因此,寻找新的更自然、更方便、更高效的人机交互智能化方法,是目前嵌入式人机交互领域中的一个重要研究课题^[1~4]。

与键盘、鼠标、触摸显示屏等人机交互方式所不同的是,人们日常生活中通常进行交流的方式除了语音文字之外,手势、表情、步态等身体语言也是人类交流的一

种重要方式,基于手势的HCI技术能使得人机对话更加方便、自然,因此最近十年来受到了学术届的广泛重视^[1~3,6],综述性的文献可参阅文献[1~3]及[6]。特别地,利用手指运动信息或者手指形态来构造HCI技术近十年来也已经有不少的尝试,归纳起来主要有如下几个方面的应用:(1)手势语言识别^[5,9~14],例如汉语手指字母识别^[9,12]、美国手势语言(ASL)^[13]、中国手势语言(CSL)^[9,14]等;(2)手指鼠标:利用人手指来模拟鼠标功能^[8,15,16];(3)利用基于视觉的手指来对虚拟物体进行控制^[17~20],其中比较典型的系统如数字桌面^[18~20]等;(4)TV 家电遥控^[21]:利用手指来控制TV等家电产品;(5)Windows命令控制:如WWW浏览器导航^[22,8]、屏幕操纵控制^[23]、游戏控制^[24]等;(6)手指绘画系统^[8,17,24];(7)特殊环境下的机械及机器人控制^[25]等。尽管在手势人机交互领域的研究人员已经从事了大量的研究工作,但从目前已发表的文献资料来看,利用手势并结合文字识别技术来进行文字输入,目前还没有相关的研究报告。

本文提出基于视频运动手指跟踪的手指“书写”虚

拟文字识别人机交互新方法,其基本思路是利用普通摄像头来捕捉人手指的虚拟书写轨迹(不用任何书写工具,仅仅是手指的移动,称之为“手指书写”),通过计算机视觉信息处理,恢复出手指书写文字轨迹的时空信息(称之为虚拟文字),然后识别出人手“写”出来的文字信息,最终构造一种全新的人机交互文字输入方法.该方法的主要优点是可以使得移动设备(如手机)体积做得更小巧而不影响输入效率(因为摄像头体积很小),可望在移动数码产品(如智能手机)中有较大的潜在应用价值.系统总体结构流程图如图 1 所示.



图 1 系统结构流程图

整个系统由“图像实时捕捉”、“指尖跟踪及检测”、“虚拟文字恢复”、“特征提取及识别”等四大部分组成,运动图像的捕捉本文使用普通的低分辨率 USB 摄像头,摄像头的分辨率是 320 × 240,图像采集最大速度为 30 帧每秒(fps).指尖跟踪及检测、虚拟文字恢复、特征提取及识别等几个部分将在本文第 2~4 节进行论述.

2 运动手指的跟踪及检测

限于篇幅,本文仅讨论简单背景下的手指跟踪及检测.对于简单背景情况下的视频手指图像,没有必要建立需要较大运算量的背景模型^[27],主要是要考虑光线角度所产生的阴影对手指检测的影响.如果采用简单的二值化分析方法,在阴影影响较大情况时,无论如何选择阈值,也很难得到满意的手指图像.经过实验,本文采用基于数学形态学的轮廓检测方法来提取手指轮廓形状以消除一般光线阴影的影响,然后投影分析来预测手指粗略位置,再结合预测模型来预测确定搜索窗口,最后在搜索窗口内用模板匹配法来检测手指指尖精确位置,该方法的原理框图如图 2 所示.

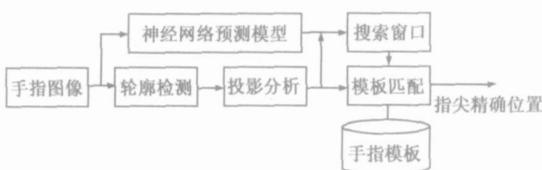


图 2 手指检测的原理框图

2.1 基于数学形态学的手轮廓提取

由于不需要检测手指的很详细的轮廓细节,因此本文使用的轮廓检测方法是基于数学形态学的轮廓检测方法,其基本原理可用式(1)来描述.

$$E = B - B \odot S \quad (1)$$

式中 B 代表原始图像, S 为模板子图像(本文使用 9×9 的矩形模板,模板中每个元素的取值均为 1), \odot 代表数学形态学中的腐蚀运算, E 是获得的轮廓图像.使用该

方法的好处是算法简单易实现,且通过对比实验发现其比常用的轮廓检测算子如 Sobel 算子要好,在保证消除阴影影响的情况下,能检测出较清晰的手轮廓,如图 3(b) 所示.

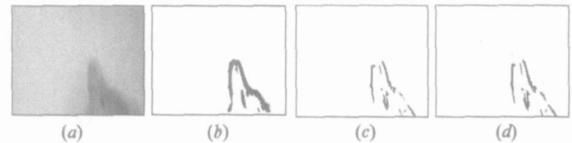


图 3 (a)原图;(b)本文方法;(c)Prewitt算子检测结果;(d)Sobel算子检测结果

2.2 动态搜索窗口的确定及预测模型

手指轮廓图像提取出来之后,如果在整幅图像中搜索指尖,计算量是非常大的,因此需要对指尖的位置信息进行预测,缩小指尖匹配的搜索窗口.确定搜索窗口的主要思路有两条:一是直接对指尖图像进行投影分析来确定^[16],该方法简单计算量小,对运动突变不敏感,但无法得到较准确的指尖预测位置;二是利用预测模型(如 Kalman 滤波器^[28]、神经网络非线性预测模型^[29])来对指尖位置预测,该方法的优点是预测较准确,但对运动突变(如速度突然改变)比较敏感.在本文的系统中,结合了这两种方法来进行搜索窗口的预测,取得了较好的预测效果,下面分别进行论述.

2.2.1 投影分析及粗略搜索窗口预测

对简单背景的图像,经过图 3 所示的轮廓提取之后,一般均能获得较清晰的手轮廓图像(偶尔也会有一点噪声的干扰,但很容易用滤波器等方法去除).由于人用手指进行自然书写时,一般指尖总是指向上方(左上、正上或右上方),基于这一基本事实,可以对二值化后的手轮廓图像进行简单的横纵坐标投影(如图 4(a) 所示),从上至下、从左至右,搜索到投影值明显变化的地方,作为手指尖的粗略位置,然后以此位置为中心,构造如图 4(b) 所示的粗略搜索窗口.

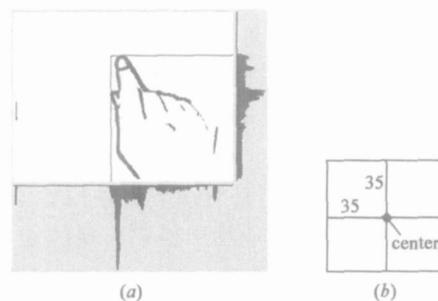


图 4 (a) 投影分析及指尖粗略位置确定;(b) 粗略搜索窗口的确定

2.2.2 神经网络非线性预测模型确定精确的搜索窗口

对于从摄像头采集而来的运动手指图像序列,指尖的位置信息可以看成是一个时间序列.因此,可以用预测模型来对指尖位置进行预测.常用的方法有

Kalman 滤波器等^[28],但 Kalman 滤波器是一种线性预测模型,无法对时间序列的非线性突变进行精确描述,且对初始预测矩阵及参数的选择比较敏感.近年来,神经网络领域中提出了一种新的用于时间序列预测的单层函数连接神经网络(Flat Functional-link Neural Network, FlatNN)模型^[29],其特点是网络训练简单,算法是一步(One-Step)更新,速度很快,且网络结构动态更新,非常适合于实时的时间序列预测,因此,本文采用文献[29]中提到的 FlatNN 模型来对手指位置进行预测.

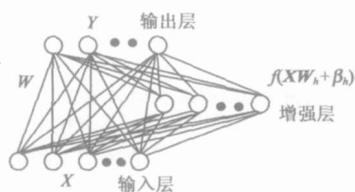


图 5 FlatNN 的网络结构图

FlatNN 的网络结构如图 5 所示^[29].预测实质上是一个对未知函数的逼近,FlatNN 的输入输出关系可表示如下:

$$Y = [X] f(XW_h + \beta_n) W \quad (2)$$

其中 Y 是输出矢量(例如手指的预测位置), X 是输入矢量(例如手指的历史位置信息), W_h 表示输入层到隐层的权值矩阵, f 表示非线性的激活函数(如 Sigmoid 函数), β_n 是偏置矩阵, W 是需要训练的权值矩阵, $|$ 表示两个矩阵的合成.单层函数连接神经网络的具体结构及学习算法可参见文献[29,30].

对 FlatNN 算法的改进及应用

利用 FlatNN 进行时间序列的预测一般使用历史时间序列作为训练样本^[29],但是如果选择已写部分字符的时间序列作为训练样本,将浪费很多时间序列样本在训练上,且损失了对用于训练数据的预测.因此,在应用 FlatNN 来解决短序列运动预测的问题时,我们对其进行了如下两个方面的改进:(1)我们知道一个字符的笔画可以近似分解成横、竖、撇、捺四种子方向模式,数字及英文字母还含有大量的圆弧形模式,因此本文在训练策略上用横、竖、撇、捺及圆弧等五种笔画序列来进行训练 FlatNN,而不是像传统方法那样用历史位置点来训练,实验表明这一措施比较有效.(2)对 FlatNN 的加强型节点进行限制,在测试过程中如果该节点数目超过给定的阈值,则自动对该节点进行复位.这样可以很好地避免在 FlatNN 应用中经常出现的 ill-Condition 问题^[29].这两方面改进措施有如下优点:(1)节省训练时间.(2)保证字符一开始就可以得到预测(不损失训练阶段的数据).(3)由于笔划包含字符书写轨迹的基本特征,从而能保证预测的准确性.(4)降低了 W 矩阵的存储量.

表 1 及表 2 分别给出了本文所提出的改进方法与原 FlatNN 的性能对比.从表中我们看到,经过本文方法改进后的 FlatNN 在“最大预测误差”以及“平均预测误

差”的性能得到了很大改善.

表 1 利用笔画序列作为训练数据与传统方法的比较(单位:像素)

样本	视频序列样本 1		视频序列样本 2	
	传统方法	本文方法	传统方法	本文方法
最大误差	52.42	21.63	40.22	16.80
平均误差	20.49	8.20	16.71	6.54

表 2 对加强型节点数目进行限制后的性能改善对比(单位:像素)

样本	视频序列样本 1		视频序列样本 2		
	是否对节点数限制	是	否	是	否
最大误差		21.63	71.08	16.80	109.06
平均误差		8.20	15.62	6.54	16.574

图 6 给出了对一个字符书写轨迹的预测结果示意图(圆圈^o表示真实值,*号表示预测值,真实值与预测值之间用虚线连接),可以看出本文改进后方法比原 FlatNN 方法及 Kalman 滤波方法取得了较好的预测结果.



图 6 对字符书写轨迹的预测性能对比

本文对约 1820 套字符书写轨迹(Video 数据,每个 Video 片断包含一个完整的手指书写的英文字母或数字)进行实时预测,实验结果显示:大部分点(超过 95%)的预测误差都在 20×20 (像素点)的范围.考虑到实际系统的容错性,我们最终确定以预测点为中心的 40×30 的窗口为最终的搜索窗口.对实验结果的分析还表明:出现较大预测误差主要发生在书写速度发生突变的地方.出现这种情况时(预测点与历史点出现较大偏差),我们使用 2.2.1 节所述的办法(该方法主要看投影,与运动速度无关)确定预测搜索窗口,从而保证搜索窗口中总能包含有效的手指图像.

2.3 基于模板匹配的指尖检测及实验结果

模板匹配是目前手指检测中常用的方法,常用的距离测度有欧式距离、相关距离等,为了节约计算时间,本文采用的距离测度为绝对值距离.精确的指尖检测模板匹配方法可用式(3)来描述:

$$(i_m, j_m) = \arg \min_{i, j, k} \left\{ \sum_{m=0}^{24} \sum_{n=0}^{24} \text{abs}(p(i+m, j+n) - t_k(m, n)) \right\} \quad (3)$$

式中 p 是搜索窗口中的待匹配子图像, t_k 代表第 k 个模板(本文使用 5 个大小为 25×25 的手指模板). (i_m, j_m) 为最终检测到的指尖精确位置.

图 7 给出了按照上述方法得出的部分指尖检测结果.由图中可以看到尽管有阴影影响,指尖检测的位置

仍然相当精确。

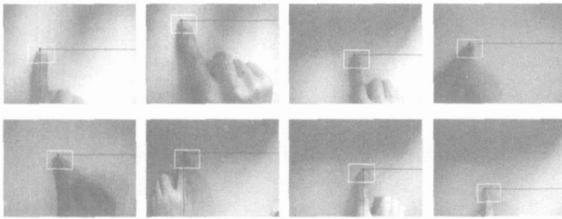


图 7 指尖检测结果示意图。图中白色矩形框为搜索窗口，黑点处为检测到的指尖位置

3 虚拟文字恢复

在本文的系统中,书写者利用手指在摄像头的监视下在普通桌面上进行书写,系统自动检测各帧的指尖位置,书写结束时手指停顿 0.3 秒左右表示结束,将各帧检测到的指尖位置顺序连接起来,可以恢复出用手指书写的字符笔迹。图 8 给出了用手指“书写”的 10 个数字及 26 个英文字母的恢复笔迹。由于书写没有使用任何常规的书写工具,在书写的介质上也未留下任何真正的字符墨迹,因此我们称这种恢复出来的字符笔迹为“虚拟笔迹”,相应恢复出的文字称之为“虚拟文字”。

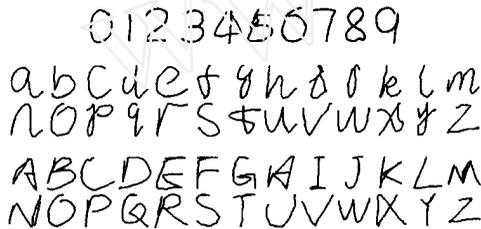


图 8 恢复出的虚拟文字

由于系统较难检测手指的抬笔与落笔(Pen Up/ Pen Down)两种状态,因此,所有字符均是以一笔画连接的策略来进行恢复。对于绝大部分的字符数字字母,这种策略基本上没有问题,但对于“5”“i”“j”“t”“H”等这样的字符,会有一些不该出现的墨迹,对识别性能有一定影响。为了解决此问题,本文提出可变宽度的虚拟笔画恢复方法,其基本思想是根据指尖运动的速度,来动态调节恢复出的字符笔画宽度,运动速度快时笔画细,速度慢时笔画粗。具体做法是:当一个字符书写完毕后,可以计算出运动速度 v 的均值 \bar{v} 及方差 σ^2 ,恢复出的虚拟笔画当前轨迹点的宽度 w 根据式(4)来进行计算:

$$w = \begin{cases} 4, & \text{if } v > \bar{v} + \sigma \\ 3, & \text{if } \bar{v} + \sigma < v < \bar{v} + 3\sigma \\ 1, & \text{if } v > \bar{v} + 3\sigma \end{cases} \quad (4)$$

这样恢复出的可变宽度的字符中能在某种程度上克服抬笔(Pen Up)状态时对真正字符轨迹的干扰(如图 9 中的字符 i, j),最终得到的虚拟字符如图 9(b)所示。实验表明,采用可变宽度的方法来恢复虚拟字符,识别

率比固定宽度方法平均能提高 1.6% 左右。

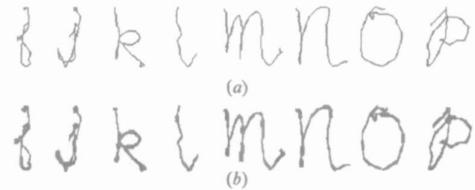


图 9 固定宽度及可变宽度恢复出的虚拟文字 (a) 固定宽度; (b) 可变宽度

4 特征提取与分类器

本文使用的特征为 Gabor 方向特征^[31]。在利用 Gabor 滤波器进行特征提取时,对所有恢复出的虚拟字符线性规一化到 64 × 64 大小的二维图像,然后对每个图像划分 N × N 的弹性网格^[32],以每个网格的中心点作为采样点来分别提取四个方向的 Gabor 方向特性,这样每个字符将得到一个 N × N × 4 维的特征矢量。

为了减少特征维数,提高处理速度,本文使用模式识别中较成熟的 LDA(Linear Discriminative Analysis) 技术对特征进行了降维,然后使用距离分类器来进行分类识别。实验中利用摄像头采集了 70 个不同书写者在几种不同的光线用手指进行自然书写的运动 Video 数据,对书写者的书写风格及书写速度并未进行任何限制,然后利用程序自动提取出 70 套虚拟字符,每套样本包括 10 个数字、26 个小写英文字母、26 个大写英文字母,利用其中 40 套进行训练分类器,其余 30 套进行测试,得到的识别结果如表 3 所示。

字符集	识别率
数字	98.0%
小写字母	95.0%
大写字母	95.7%

5 系统实现

本文实现的手指书写虚拟文字识别系统界面如图 10 所示,整个系统用 VC++ 编程实现,系统使用 Pentium III 微机进行计算,CPU 主频为 800MHz,内存为 256MB,系统使用普通的 USB 低分辨率数码摄像头设备进行运动图像捕捉,图像分辨率为 320 × 240,系统处理速度为 20fps 左右。系统对不同的人、左右手的手指均能实现很好的跟踪及检测,在常规自然状态下(速度适中、光线合适),对于手指书写的虚拟文字的识别率可以达到 95% 以上。

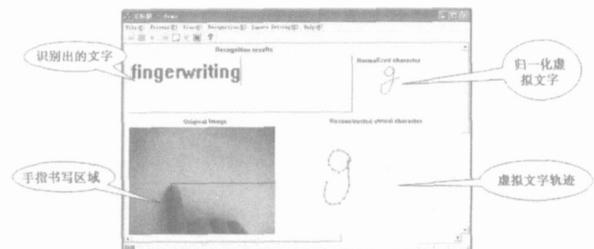


图 10 基于手指跟踪的虚拟文字识别人机交互系统

与传统的基于键盘、触摸屏、手写识别等输入方法相比,本文方法有如下一些优点:(1)可以使得移动设备(如手机)体积做得更小巧而不影响输入效率(因为摄像头体积很小);(2)能扩展普通摄像头的附加功能;(3)书写范围不受显示屏幕大小限制;(4)不需要特殊的书写工具(如笔、键盘、触摸屏等);(5)是一种无线输入法。因此有望在嵌入式等设备中有较大的潜在应用前景。

6 结论、讨论与展望

本文提出了一种全新的手指书写虚拟文字识别系统的设计原理及相关实现算法,该方法利用普通摄像头捕捉人手书写文字信息,利用改进的神经网络算法及模板匹配方法来跟踪检测手指位置,然后恢复出手指书写的虚拟文字,再进行识别。实验结果表明:系统方案可行,手指跟踪及检测准确率高,对数字、英文字母的虚拟文字恢复及识别基本能达到一般 HCI 的要求。

本文提出的系统设计思路及相关方法为在人机交互智能接口领域提供一种全新的尝试与探讨,可望能对基于视觉的 HCI 领域提供一种全新的文字输入方法。值得指出的是:本文的研究工作仅仅是一个初步的探索,仍然有一些问题需要进一步考虑和解决:

(1) 复杂背景问题:目前本文所述系统仅仅考虑了简单背景的情况,对于复杂背景下的运动手指跟踪及检测问题,需要建立合适的背景模型或者利用运动模型来解决;我们将另文论述。

(2) 抬笔/落笔(Pen Down/Up)检测:目前该系统对虚拟文字的恢复未能考虑对手指书写的抬笔及落笔的检测问题,对于英文字母及数字的识别而言,这方面的问题还不很突出,但如果要对手指书写的汉字进行识别,如果不进行抬笔、落笔状态检测,则恢复出的汉字(特别是笔画多的汉字)将会十分凌乱。基于视觉的抬笔/落笔的检测是一个较难的问题,文献[7]介绍了利用 HMM 模型检测基于视觉的钢笔书写抬笔/落笔状态,但准确率还不是很。如何进行抬笔、落笔的检测,是一个值得进一步研究的问题;

(3) 虚拟汉字识别:目前系统仅能识别数字及英文字母,对于大字符集手指的虚拟汉字识别是下一步值得研究的课题;

(4) 联机特征提取及识别:由于目前系统所识别的字符集有限,因此本文所用的识别方法还比较简单,特别是特征提取环节,仅仅使用了二维字符图像的脱机特征,如果能结合利用虚拟文字的书写时序轨迹提取联机特征,结合联机识别器进行集成识别,将有助于识别率的进一步提高(但这会增加系统的处理时间)。

上述问题的解决将有助于本文提出的基于视觉手指书写的 HCI 系统更加稳定、可靠,并最终能实际应用

到需要更自然、更方便、更小型化的人机交互智能接口设备中。

参考文献:

- [1] V Pavlovic, R Sharma, Thomas S Huang. Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review [J]. IEEE Trans PAMI, 1997, 19(7): 677 - 695.
- [2] Liang Wang, Weiming Hu, Tieniu Tan, Recent developments in human motion analysis [J]. Pattern Recognition 2003, 36(3): 585 - 601.
- [3] Kenji Oka, Yoichi Sato, Hideki Koike. Real-time fingertip tracking and gesture recognition [J]. IEEE Graphics and Applications, 2002, 22(6): 64 - 71.
- [4] Cipolla R, Pentland A. Computer Vision for Human-Machine Interaction [M]. UK: Cambridge University Press, 1998.
- [5] 李清水, 方志刚, 等. 手势识别技术及其在人机交互中的应用 [J]. 人类工效学, 2002, 8(1): 27 - 30.
- [6] 任海兵, 祝远新, 徐光佑, 等. 基于视觉手势识别的研究——综述 [J]. 电子学报, 2000, 28(2): 118 - 121.
REN Hai-bing, ZHU Yuan-xin, XU Guang-you, et al. Vision-Based Recognition of Hand Gestures: A Survey [J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 8(2): 118 - 121. (in Chinese)
- [7] M E Munich, P Perona. Visual input for peer-based computers [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(3): 313 - 328.
- [8] C Hardenberg, F Berard. Bare-hand human-computer interaction [A]. Proceedings of the ACM Workshop on Perceptive User Interfaces [C]. New York USA: ACM Press, 2001. 1 - 8.
- [9] 李勇, 高文, 姚鸿勋. 基于颜色手套的中国手指语字母的动静态识别 [J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(17): 55 - 58.
Li Yong, Gao Wen, Yao Hongxun. Chinese Sign Language Finger Alphabet Recognition Based on Color Gloves [J]. Computer Engineering and Applications, 2002, 38(17): 55 - 58. (in Chinese)
- [10] 张良国, 吴江琴, 高文, 等. 基于 Hausdorff 距离的手势识别 [J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(11): 1145 - 1150.
ZHANG Liang-guo, WU Jiang-qin, GAO Wen, et al. Hand gesture recognition based on Hausdorff distance [J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(11): 1145 - 1150.
- [11] L Bretzner, I Laptev, T Lindeberg. Hand gesture recognition using multi-scale colour features, hierarchical models and particle filtering [A]. Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition [C]. Washington DC: IEEE Press, 2002. 405 - 410.
- [12] 吴江琴, 高文. 基于数据手套的汉语手指字母识别 [J]. 模式识别与人工智能, 1999, 12(1): 74 - 78.
Wu Jiang-Qin, Gao Wen, Chen Xi-Lin. A system recognizing Chinese finger-stelling litter based on data-glove input [J]. Pat-

- tern Recognition and Artificial Intelligence, 1999, 12(1): 74 - 78. (in Chinese)
- [13] T Starner, J Weaver, et al. Real time American sign language recognition using desk and wearable computer-based video[J]. IEEE Trans PAMI, 1998, 20(12): 1371 - 1375.
- [14] Chunku Wang, Wen Gao, Shiguang Shan. An approach based on phonemes to large vocabulary Chinese sign language recognition [A]. Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition[C]. Washington DC, USA :IEEE Press, 2002. 393 - 398.
- [15] F Quek, T Mysliwiec, M Zhao. Finger mouse :A freehand pointing interface [A]. Proceedings of International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition[C]. Zurich, Switzerland :IEEE Press, 1995. 372 - 377.
- [16] Rochelle O'Hagan, Alexander Zelinsky. Finger track-A robust and real-time gesture interface[A]. Australian Joint Conference on Artificial Intelligence [C]. Perth, Australia : World Scientific Press, 1997. 237 - 247.
- [17] J Crowley, F Brard, J Coutaz. Finger tracking as an input device for augmented reality [A]. Proceedings IEEE International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition [C]. Zurich, Switzerland :IEEE Press, 1995. 195 - 200.
- [18] Yoichi Sato, Yoshinori Kobayashi, Hideki Koike. Fast tracking of hands and fingertips in infrared images for augmented desk interface[A]. Proceedings of Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition [C]. Washington, DC :IEEE Press, 2000. 462 - 467.
- [19] Thomas Brown, Richard C Thomas. Finger tracking for the digital desk[A]. First Australasian User Interface Conference [C]. Washington, DC :IEEE Press, 2000. 11 - 16.
- [20] Kenji Oka, Yoichi Sato, Hideki Koike. Real-time tracking of multiple fingertips and gesture recognition for augmented desk interface systems[A]. Proceedings of IEEE Intl Conf Automatic Face and Gesture Recognition [C]. Washington, DC :IEEE Press, 2002. 429 - 434.
- [21] Sören Lenman, Lars Bretzner, Björn Thuresson. Computer vision based hand gesture interfaces for human-computer interaction [R]. Sweden :Department of Numerical Analysis and Computer Science, Royal Institute of Technology, 2002. TRITA-NA-D0209.
- [22] R Kjeldsen, J Kender. Visual hand gesture recognition for window system control [A]. Proc Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition [C]. Zurich, Switzerland :IEEE Press, 1995. 184 - 188.
- [23] M S Lee, D Weinshall, et al. A computer vision system for on-screen item selection by finger pointing [A]. Proc of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. Puerto Rico :IEEE Press, 1997. 1027 - 1033.
- [24] W T Freeman, K Tanaka, et al. Computer vision for computer games [A]. Proc Int'l Conf on Automatic Face and Gesture Recognition [C]. Millington :IEEE Press, 1996. 100 - 105.
- [25] R Cipolla, N J Ollinghurst. Human Robot interface by pointing with uncalibrated stereo vision [J]. Image and Vision Computing, 1996, 14(3) : 171 - 178.
- [26] McAllister G, McKenna S J, Ricketts I W. Hand tracking for behaviour understanding [J]. Image and Vision Computing, 2002, 20(12) : 827 - 840.
- [27] K Toyama, J Krumm, B Brumitt, B Meyers. Wallflower : Principles and practice of background maintenance [A]. International Conference on Computer Vision [C]. Corfu, Greece : IEEE Press, 1999. 255 - 232.
- [28] Sylvia M Dominguez, Trish Keaton, Ali H Sayed. Comparison of robust estimation and Kalman filtering applied to fingertip tracking in human-machine interfaces [A]. Proc Asilomar Conference on Signal, Systems & Computers [C]. Canada : Pacific Grove, 2001. 342 - 346.
- [29] C L Philip Chen, John Z Wan. A rapid learning and dynamic stepwise updating algorithm for flat neural networks and the application to time-series [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics—Part B : Cybernetics, 1999, 29(1) : 62 - 72.
- [30] DuanDuan Yang, LianWen Jin, Li-Xin Zhen, Jian-Cheng Huang. Handwritten Chinese moving trajectories prediction with FFNN and Kalman Filter [A]. Proceedings of International Conference on Image and Graphics [C]. Hongkong : IEEE Press, 2004. 515 - 518.
- [31] 王学文, 丁晓青, 刘长松. 基于 Gabor 变换的高鲁棒汉字识别新方法 [J]. 电子学报, 2002, 30(9) : 1317 - 1322.
- WANG Xue-wen, DING Xiao-qing, LIU Chang-song, Gabor filters based feature extraction for robust Chinese character recognition [J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(9) : 1317 - 1322. (in Chinese)
- [32] Lianwen JIN, Gang Wei. Handwritten Chinese Character Recognition with Directional Decomposition Cellular Features [J]. Journal of Circuit, System and Computer, 1998, 8(4) : 517 - 524.

作者简介:



金连文 男, 1968年10月出生于贵州省纳雍县, 1991年本科毕业于中国科技大学, 1996年于华南理工大学获博士学位。目前为华南理工大学电子与信息学院教授、博士生导师, 2006年入选教育部新世纪优秀人才支持计划。近年来主持国家自然科学基金、广东省自然科学基金等科研项目 10 余项; 在国内外发表论文近 80 篇, 主要研究方向为模式识别、图像处理、智能信息处理。
E-mail: eelwjn@scut.edu.cn

徐睿 男, 1979年出生于山东省青岛市, 2001年本科毕业于华南理工大学, 2004年于华南理工大学获硕士学位, 主要研究方向为图像处理、模式识别。E-mail: qdxrui@hotmail.com