

基于机器视觉的手机键盘质量检测系统^①

Keypad Quality Automatic Inspection System of Cellular Phone Using Machine Vision

徐珂 朱煜 (华东理工大学 信息科学与工程学院 上海 200237)

摘要: 分析了利用机器视觉技术设计检测系统的现实意义,并介绍了系统的硬件和软件结构,对基于机器视觉的实时图像处理算法进行了研究。把主元分析的方法引入了图像校准领域,实现了图像的倾斜校正。通过现有分割方法的比较,提出了一种综合分割方法,对图像的特征有比较好的保持效果。使用轮廓跟踪技术完成了特征提取。根据特征的统计分布特性,利用特征区域匹配实现质量检测。实际使用情况表明该系统是可行且有效的。

关键词: 机器视觉 手机键盘 在线检测 图像处理 系统设计

随着工业自动化水平的不断提高,机器视觉技术被广泛地应用于工业检测领域,从而把工人从枯燥的工作中解放出来。而手机键盘生产在国内市场具有很高的占有量,由于手机的普及和惊人的产品更新速度,对手机键盘生产的自动化水平提出了新的要求。其中,手机键盘的质量检测是关键阶段。与一般意义上的图像处理系统相比,机器视觉系统强调精度和速度,以及工业现场条件下的稳定性。但是,机器视觉系统开发是一个复杂的过程,涉及光电、机械、图像处理等多种技术手段。一般人很难在短时间内整合各种资源来有效地进行系统开发。本文作者总结实际中的工程经验,阐述了系统的总体设计思路和关键的技术环节。对同类产品的研制具有一定的参考价值。

1 机器视觉系统结构

机器视觉系统集成技术主要包括硬件资源配置和图像处理软件开发两部分。这两部分的功能等同于人的眼睛和大脑。人的大脑要对从眼睛采集到的外部信息进行处理。同样,系统的硬件部分就是把外部的图像信息经过光电转换存储到计算机当中,软件部分对得到的信息进行处理和分析。目前工业检测中有两种机器视觉系统,一类是基于 PC,另一类是基于智能相机^[1]。本文中的检测系统主要是采用了基于 PC 的开发

方法。系统的结构如图 1 所示。主要由图像处理子系统、光源、传送装置和控制部件组成。可以分为三个功能块:采像、分析和控制。系统集成的目的和性能的评价标准主要是检测的速度、精度和系统运行的稳定程度。系统的具体配置参数见文献[2]。

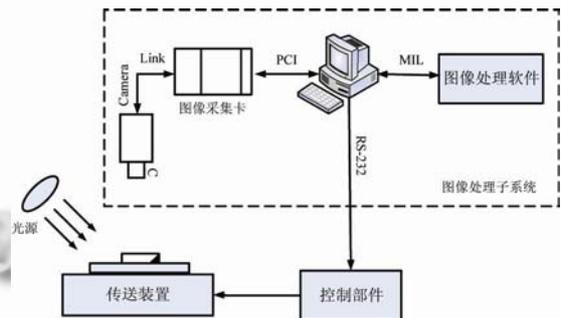


图 1 系统结构图

2 系统软件结构

系统软件功能采用了模块化的规划方法,主要包括:检测模块、学习模块、参数设置模块、驱动程序、操作系统部分。运行的过程包括了学习和检测两个阶段。软件的设计过程,其实就是一个完整的图像处理过程。包括了图像采集、处理和分析的各个阶段。主要的设计目标是从图像中获取有用的信息,并做出正确的分析判断。要说明的是,机器视觉系统的硬件设

① 基金项目:国家自然科学基金项目(50803016);上海市教委青年基金项目(01QN30)

收稿时间:2008-09-30

计和软件设计是密切相关的。硬件的合理配置可以给软件的开发带来很大的便利。比如，采集到的图像效果比较好且受外部的干扰比较少的话，图像处理的难度将大大降低，处理的精度和速度也可以得到保证。系统的软件结构和设计流程如图 2 所示。

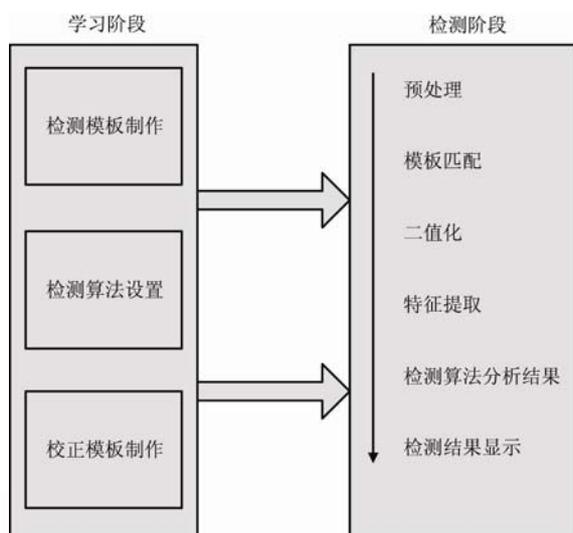


图 2 系统软件结构和设计流程图

3 图像校准

在检测过程中，总是预先定义一个标准的工件模板，将采集到的图像与标准的模版进行比较。在这个过程中，会存在模板匹配的过程。当工件存在倾斜的角度时，会增大软件部分匹配的难度，使图像处理的过程复杂化。主元分析 (Principle Component Analysis, PCA) 是一种样本集特征提取的常用方法^[3]。这里将其引入图像倾斜校正领域。该方法将二值畸变图像看作一个数据集，图像中的每个“1”值像素作为数据集合中的一个样本，像素的坐标即为样本的特征。通过 PCA 方法求取该数据集的主元分量和变换矩阵，可实现图像的倾斜校正。

假定有一数据集，其特征向量 \mathbf{X} 由两个分量 x 和 y 组成，数据集中共有 N 个数据： $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ 。PCA 方法就是寻找一个新的坐标系，使全部样本点投影到新的坐标 \mathbf{X}' 上的分量离散最大，即方差最大，则该方向被称之为主元方向。若将二值化后的图像看作该数据集，则 PCA 实质上是作线性变换，使原来的坐标系旋转到主元方向：

$$\begin{cases} x' = a_{11}x + a_{12}y \\ y' = a_{21}x + a_{22}y \end{cases} \quad (1)$$

将上式的坐标系旋转表达为矩阵形式，有：

$$Y = AX \quad (2)$$

式中， $Y = (x', y')^T$ 为主元旋转后的坐标， \mathbf{A} 为正交变换矩阵。要求正交变换矩阵 \mathbf{A} ，可以将 \mathbf{Y} 进行转置，则有 $Y^T = X^T A^T$ ，与式(2)相乘并求数学期望有：

$$E(YY^T) = AE[XX^T]A^T \quad (3)$$

将上式表达为：

$$C_y = AC_xA^T \quad (4)$$

上式中 C_y, C_x 分别为坐标向量 \mathbf{Y}, \mathbf{X} 的协方差矩阵。 \mathbf{A} 是正交变换矩阵(即 $A^{-1} = A^T$)，因此上式又可表达为：

$$C_x = A^T C_y A \quad (5)$$

由于 C_x 为实对称矩阵，因此选择合适的正交矩阵 \mathbf{A} 可以作奇异值分解。此时， C_x 为对角矩阵 $diag(\lambda_1 - \lambda_2)$ ， λ_1 是 C_x 的特征值且 $\lambda_1 > \lambda_2$ ；变换矩阵 \mathbf{A} 的列向量 A_i 即为 C_x 的特征向量。

根据协方差的概念，特征值 λ_1 代表样本集在特征向量上的方差，因此在 λ_1 所对应的特征向量 A_1 即为主元方向。由此可见，PCA 图像倾斜校正实质上是作坐标变换，使原来的坐标旋转到主元方向上，使各像素在该主元坐标投影分量的方差达到最大。

4 图像分割

手机键盘表面缺陷可以分为两种：一种缺陷明显与周围的无缺陷区域不同，比周围区域或暗或亮，我们称之为“对比缺陷”，如划痕；另一种缺陷与周围无缺陷区域具有同样的明暗度，所表现不同的是一种纹理或者是模式上的变化，我们称其为“模式缺陷”。我们在图像分割时要根据这两种缺陷的不同特点，采取相应的措施，在分割后的二值图像中完整地体现出所要分析的特征区域。本文所用方法是通过常用分割方法的分析比较，提出一种综合的分割方法，这种方法可以同时对上述两类特征有很好的保持效果，下面给出分析过程。

如图 3 所示。对一个存在问题的键盘图样，用常规的分割方法进行分割处理^[4,5]。通过试验比较可以发现，最大类间方差法对图样的“对比缺陷”有比较好的保持效果，而最大熵法对图样的“模式缺陷”比较有效。所以，我们可以对这两类方法进行综合应用。

综合分割方法以下简称综合法，具体过程如下：原始图像，分别作最大类间方差法和最大熵法的分割，

最大熵的分割结果经过反色后与另一分割方法的分割结果相加,可以得到综合法最终的分割图像。由图 3 可以看出,本文所述的综合法对本系统而言有比较好的分割效果。



图 3 分割方法效果比较

5 特征提取

特征提取是系统检测算法的基础,通过特征分析,对样本进行模式分类。本文用轮廓跟踪技术^[6]对分割后的二值图像进行特征提取,基于轮廓的链码表示,计算出区域的各个特征参数。链码的定义和使用可以参见文献[7,8]。在得到区域边界的链码值之后,我们可以计算得到以下的特征参数:

① 周长 L

$$L = n_g + \sqrt{2}n_0 \quad (6)$$

其中, n_g 表示方向链中偶数码的数目, n_0 表示奇数码的数目。

因为偶数链码段为垂直或水平方向的码段,奇数链码为对角段。所以奇数码要用 $\sqrt{2}$ 的权重修正,修正后边界的长度检测时可以弥补图像离散化的误差。

② 区域的宽度和高度

设方向链为 $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_0\}$, 定义 a_i 在 x 轴上的分量为 a_{ix} , 在 y 轴上的分量为 a_{iy} , 设 (x_0, y_0) 是起点坐标, 则:

宽度:

$$\omega = \max_i \left(\sum_{k=1}^i a_{kx} + x_0 \right) - \min_i \left(\sum_{k=1}^i a_{kx} + x_0 \right) \quad (7)$$

高度:

$$h = \max_i \left(\sum_{k=1}^i a_{ky} + y_0 \right) - \min_i \left(\sum_{k=1}^i a_{ky} + y_0 \right) \quad (8)$$

③ 面积

$$S = \sum_{i=1}^n a_{ix} (y_{i-1} + a_{iy} / 2) \quad (9)$$

$$y_i = \sum_{k=1}^i a_{ky} + y_0 \quad (10)$$

④ 区域圆弧度

圆弧度表示目标物体接近圆的程度,有:

$$R = 4\pi S / L^2 \quad (11)$$

式中 S 为面积, L 为周长。 R 的取值范围是 $0 < R \leq 1$, R 越大,则区域越接近圆形。

⑤ 重心坐标

重心坐标可以用于衡量一个特征区域是否发生了偏移,是左右特征区域点的平均质量中心。设每一点都有均匀的密度,重心坐标有时可能位于区域的外部。重心坐标的表达式如下:

$$X_{mass} = \frac{\sum x}{S} \quad (12)$$

$$Y_{mass} = \frac{\sum y}{S} \quad (13)$$

其中, S 为区域面积。

⑥ 区域的外边界矩形

区域的外边界矩形可以用于准确的定位特征区域在目标物中的正确位置。它是与特征区域最大和最小的 x 和 y 坐标平行的最小矩形。

6 系统检测算法

本文采用参考比较的方法作为系统的检测算法。参考比较法顾名思义,就是预先设定一个标准的样本,把它的特征量作为基准,每次采集到新的样本与参考样本作比较。同时,为每个特征量设定一个变化的接受范围,当这一特征超出这个范围时,系统报警,检测到不合格产品。

检测的过程是在得到区域特征的统计信息后,提出一个判别准则,判断特征的分布区域。在质量检测过程中,不同的检测对象会有不同的判别准则,用来区分合格的产品与报废品。具体的算法原理如下:

根据实际经验,统计样本都服从正态分布。图 4 为检测区域某一特征的分布曲线。在实际检测过程中,当发生漏报警(将有缺陷样本判定为正常样品)的代价比发生误报警(将正常样品判定为有缺陷样本)的代价要高得多。因此,为了拒绝可疑域,将接受域设置为 $(u - x_a, u + x_a)$, u 为正态分布的均值,可以将其作为特征值的上下限。

$$\begin{cases} a \in \Omega & F(a) \in (u - x_a, u + x_a) \\ a \in \bar{\Omega} & F(a) \notin (u - x_a, u + x_a) \end{cases} \quad (14)$$

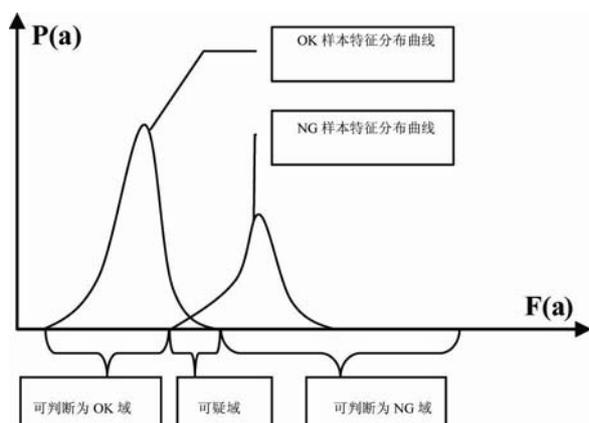


图 4 样本的某一特征分布曲线

这样就能够将有缺陷的样本检测出来，根据下面公式可以求出 x_a ：

$$P(x \geq x_a) = \frac{\Gamma(\frac{n+1}{2})}{\sqrt{n\pi} \Gamma(\frac{n}{2})} \int_x^{+\infty} (1 + \frac{x^2}{n})^{-\frac{n+1}{2}} d_x = \alpha \quad (15)$$

式中， α 为缺陷率， n 为样本个数。在实际检测过程中，由于将缺陷判定为合格的漏检错误代价比误检代价要高得多，因此，一般将 α 设置大于实际缺陷率。

以上阐述的是目标某一特征的缺陷检测。而对于键盘产品质量检测要综合参考多种特征，由得到的特征构成一个特征向量，通过特征向量的分析，检测目标是否合格。设参考样本的标准特征向量为 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。其中， $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为从参考样本中得到的特征分量。 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 是采集到的样本处理后得到的特征向量，分量与对 A 应。令 $\delta = \|A - B\| = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$ ，给定特征的标准变化偏差为 S ，则当 $\|\delta\| > S$ 时产品为不合格品，否则为合格品。

7 结语

机器视觉系统设计是一个综合应用多种技术手段的复杂过程。本文阐述了在手机键盘质量检测系统设计过程中，各个阶段的关键技术。包括视觉系统结构、软件设计思路、基于 PCA 的图像校准方法和一种十分适合手机键盘检测的综合分割方法。最后对系统的检测算法进行了说明。该算法简单有效，在众多的机器视觉检测系统中，被广泛应用。

参考文献

- 1 Khan U S, Iqbal J, Khan MA. Automatic Inspection System Using Machine Vision. IEEE Proceedings of the 34th Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop(AIPR05). 2005: 256 - 262.
- 2 徐珂, 朱煜. 一种在线检测实时图像处理系统的实现. 微计算机信息, 2008, 24(24): 299 - 301.
- 3 Gang DC, Han S. Keypad Inspection System of Cellular Phone. IEEE Computer Graphics, Imaging and Visualisation(CGIV2007). 2007: 313 - 316.
- 4 章毓晋. 图像理解与计算机视觉. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- 5 章毓晋. 图像分割. 北京: 科学出版社, 2001.
- 6 陆宗骥. C/C++ 图像处理编程. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- 7 朱煜, 姜林佳. 材料图像目标粘连点定位与分割方法研究. 南京理工大学学报(自然科学版), 2008, 32(1): 110 - 113.
- 8 陆宗骥, 童韬. 链码和在边界形状分析中的应用. 中国图象图形学报, 2002, 7(12): 1323 - 1328.