

文章编号 0253-987X(2002)12-1262-04

基于机器视觉的胶囊完整性检测系统研究

左 奇, 史忠科

(西北工业大学自动控制系, 710072, 西安)

摘要: 为提高胶囊完整性检测的正确率, 提出一种基于机器视觉的检测方法. 为避免二值化处理产生的错误分割, 采用局部二值化方法, 以边缘提取为基础, 对投影和形态滤波确定的每个胶囊存在区域进行二值化处理, 从而取得了良好的分割效果. 设计了一台基于最小错误率的贝叶斯分类器, 对胶囊进行分类, 以判断药板是否缺损. 大量实验表明, 检测为合格品的正确识别率为 99.95%, 识别速率达 200 粒/s.

关键词: 边缘提取; 局部二值化; 形态滤波; 贝叶斯判别准则

中图分类号: TP394.1 **文献标识码:** A

General Design for Capsule Integrality Detection System Based on Machine Vision

Zuo Qi, Shi Zhongke

(Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In order to improve the correct recognition rate of capsule integrality, a capsule vision recognition system is presented. To avoid false segmentation, based on the edge extraction, the local thresholding method is adopted to deal with the capsule region determined by projecting and morphologic filtering, thus an optimized segmentation result is obtained. And a Bayesian decision system to classify the capsule is designed to judge whether the board of capsules is normal or not. A great number of experiments indicate that the correct recognition rate of this system reaches up to 99.95% with a recognition rate of 200 units per second.

Keywords: edge extraction; local binarization; morphologic filter; Bayesian decision rule

在现代制药工业中, 胶囊的铝塑板包装以其方便、卫生及密封性好等诸多优点在药品包装方式中逐渐占据优势, 但在工艺流程中存在一些缺陷, 即胶囊在装入铝塑模板时容易造成漏装、残缺、漏粉等现象. 如果缺少检测环节, 就会导致不合格的药板继续执行后续的工艺流程, 造成不必要的浪费^[1]. 为从生产线上剔出这些不合格的药板, 提高药品的包装

质量, 降低生产成本, 笔者针对国内制药生产线特点, 设计了药品缺陷检测视觉识别系统.

1 胶囊完整性检测概述

胶囊完整性检测系统流程如图 1 所示. 系统位于生产线的铝塑板胶囊装填工艺与铝塑板包装密封

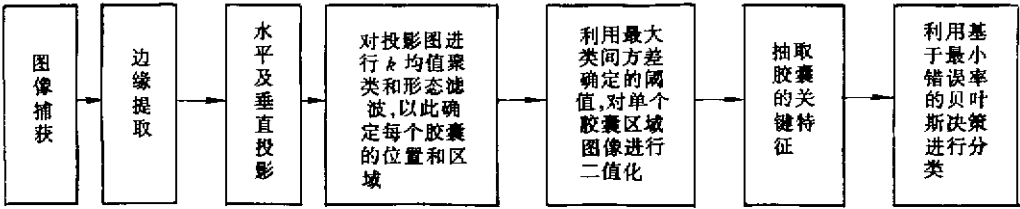


图 1 系统原理图

工艺之间,是制药工艺流程中重要的检测环节.在胶囊完整性检测之前,必须把目标从背景中分割出来.可利用的胶囊特征如下:颜色、高度、宽度、边缘轮廓以及在药板上的分布特征等等.颜色特征比较直观^[1],但胶囊类药品表皮颜色种类繁多,且有单双色之分,并且由于光线的反射作用使基于颜色特征识别胶囊完整性的可靠性下降.鉴于胶囊边缘轮廓蕴含丰富的胶囊完整性信息(包括胶囊高、宽、形状及大小等等),如果能提取出可靠的边缘特征,将极大地提高胶囊完整性检测的准确性.本文首先采用稳定、可靠的胶囊边缘特征,对采集的检测图像进行 Roberts 变换,并将变换后的图像进行水平和垂直投影,然后对投影图进行 k 均值聚类和形态滤波,以确定每个胶囊的存在区域,再利用最大类间方差确定的阈值,对区域图像进行二值化;另一方面,设计基于最小错误率的贝叶斯决策分类器,对胶囊图像进行分类.

2 基于边缘提取的胶囊定位方法

图像的边缘是一类重要的特征,提取视觉形体的边缘,无论是人类的视觉感知,还是图像处理,都是获取视觉信息的有效手段.常用的边缘检测算法有 Laplacian 变换、Diff 变换、Sobel 变换、Prewitt 变换和 Roberts 变换等等^[2].其中 Laplacian 算法对噪声很敏感,Diff 差分算子带有较强的方向性和噪声敏感性,容易造成轮廓失真,而算子的模板是影响算法效果的关键因素,经过反复实验发现,Roberts 算子对胶囊的边缘提取效果最好.本文采用的 Roberts 算子模板为

$$G[f(i,j)] = |f(i+1,j+1) - f(i,j)| + |f(i+1,j) - f(i,j+1)| \tag{1}$$

式中: $f(i,j)$ 表示对应于第 i 行、第 j 列的像素点灰度值.

药板原图像 A(如图 2 所示)经过 Roberts 变换形成梯度图像 B,图像 B 中蕴含丰富的边缘信息,

包括胶囊的个体大小信息和胶囊在药板中的分布信息.根据胶囊在药板上的分布特征(m 行, n 列)、胶囊长度、宽度等先验知识,对含有丰富边缘信息的梯度图像 B 进行水平和垂直投影.投影操作的目的是把二维图像的像素分布特征简化为 x 轴和 y 轴的两个一维函数,通过对投影的分析,即可提取出胶囊区域及分布规律.之所以对锐化图像进行投影而不对原始图像二值化后投影,是为了避免对双色胶囊的误分,使投影图只含有灰度跳变区(包括胶囊边缘)的信息,如图 3 所示.

为防止药板因为少量偏移而形成错误的检测报告,检测区域一般都大于胶囊存在区域.当药板存在偏移时,检测区边缘会存在不完整的胶囊,必须予以滤除.从一维投影图可以看出,投影图由两部分组成

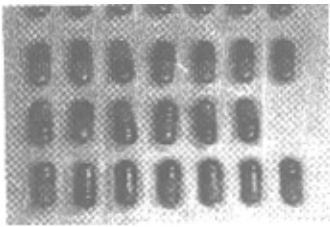


图 2 药板原图

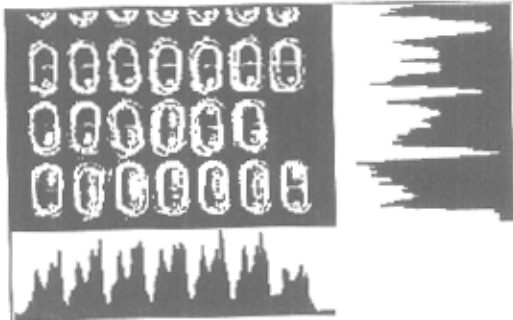


图 3 边缘提取及水平垂直投影

(胶囊存在区和非胶囊存在区),利用 k 均值聚类方

法把投影图像分成两类(胶囊区为 1, 否则为 0), 再利用数学形态学的闭运算方法进行形态滤波, 滤除小于胶囊长度和宽度的干扰区域, 见图 4.

从形态学图像处理中, 除了腐蚀和膨胀这两种基本运算外, 图 4 形态滤波图还有两种非常重要的运算方法: 开运算和闭运算. 定义为

开运算 $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$ (2)

闭运算 $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$ (3)

本文运用数学形态学的噪声抑制功能, 以滤除检测区边缘的非完整胶囊. 假定胶囊高度为 H , 宽度为 W , 取长度为 $0.8 H$ 的一维结构元素 B_1 对 y 方向二值投影图 $f_y(i)$ 执行开运算, 取长度为 $0.8 W$ 的一维结构元素 B_2 对 x 方向二值投影图 $f_x(i)$ 执行开运算. 开运算后, 投影图上将形成明显的胶囊区, 如图 4 所示, 其脉冲宽度近似为胶囊宽度及胶囊高度. 利用这些信息从检测区域中分离出 $m \times n$ 个胶囊存在区. 每个胶囊存在区用 $A_{i,j}$ 表示, 表示位于第 i 行第 j 列的胶囊区域.

3 胶囊区域的二值化处理

二值化的好坏直接影响到胶囊完整性检测的成功与否. 鉴于全局二值化的缺点^[25], 本文对局部二值化方法进行改进, 以边缘提取为指导, 通过投影算法确定出单个胶囊存在区域, 进而对单个胶囊区域二值化, 从而减轻因灰度不均匀所带来的影响.

本文采用最大类间方差法自动选择阈值. 设给定的图像具有 L 级灰度值, 阈值为 t , 把具有 t 以上灰度值的像素和具有比它小的值的像素分为类 1 和类 2 两类. 则阈值 t^* 由式(4)计算^[34]

$$t^* = \arg \max_{t \in G} [w_1(t)w_2(t) \{u_1(t) - u_2(t)\}^2]$$
 (4)

式中: 把类 1 的像素数设为 $w_1(t)$, 平均灰度值为 $u_1(t)$; 把类 2 的像素数设为 $w_2(t)$, 平均灰度值为 $u_2(t)$; G 为优化取值域 $[0, 255]$. 利用阈值 t^* 对单个胶囊区域二值化, 处理效果见图 5.

4 分类器的设计和训练

胶囊完整性检测采用统计模式识别方法, 借助万方数据

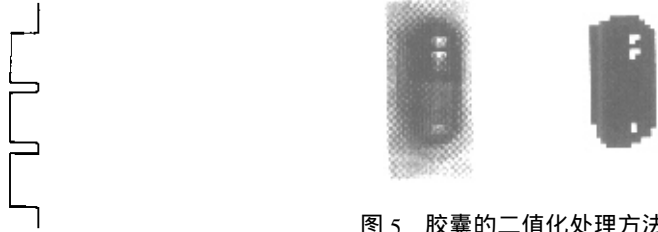


图 5 胶囊的二值化处理方法

特征测量可以获得描述目标各个特征的测量结果. 统计模式识别就是根据这些测量结果将各个目标分类, 也就是把各个目标和它们的特征集中到最为接近的类别. 因为最终是借助特征来区分不同类别的, 所以分类的关键是选择特征. 使用关键特征进行胶囊分类减少了判别像素点的个数, 既提高了识别速度, 又具有较高的识别率. 针对胶囊完整性检测选取的关键特征有: 胶囊的高度、宽度及胶囊面积(即像素数). 将目标分成两类: 正常胶囊及异常胶囊.

分类器的训练: 在工业现场任意抽取 m 个胶囊图像(其中 m_1 个正常胶囊, m_2 个残缺胶囊或漏装胶囊), 提取相应的关键特征, 利用数理统计方法分别求出正常和破损胶囊关键特征的概率分布密度函数. 以胶囊高度特征为例, 如图 6 所示.

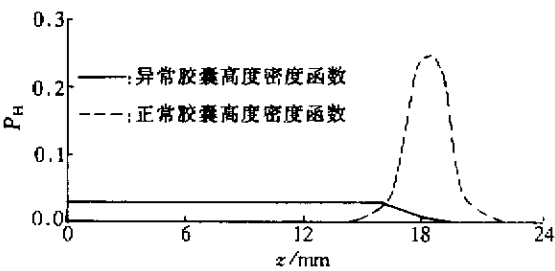


图 6 类条件概率密度

混合概率密度 $P_H(z)$ 为^[5]

$$P_H(z) = P_H(w_1)P_H(z|w_1) + P_H(w_2)P_H(z|w_2)$$
 (5)

式中: $P_H(w_1) = m_1/m$ 为正常胶囊的先验概率; $P_H(w_2) = m_2/m$ 为异常胶囊的先验概率. $P_H(z|w_1)$ 和 $P_H(z|w_2)$ 分别为正常胶囊和异常胶囊高度特征类条件概率密度函数. 利用贝叶斯公式求解

$$P_H(w_i|z) = \frac{P_H(z|w_i)P_H(w_i)}{\sum_{j=1}^2 P_H(z|w_j)P_H(w_j)}$$
 (6)

这样, 基于最小错误率的贝叶斯决策规则为: 如果 $P_H(w_1|z) > P_H(w_2|z)$, 则把 z 归类于异常胶囊 w_2 . 错误地将正常胶囊划分为异常胶囊和将异常胶囊划分为正常胶囊的概率分别是

$$E_{Hw_1}(T_H) = \int_{-\infty}^T P_H(z | w_1) dz \quad (7)$$

$$E_{Hw_2}(T_H) = \int_T^{\infty} P_H(z | w_2) dz \quad (8)$$

而总的误差概率是

$$E(T_H) = P_H(w_1)E_{Hw_1}(T_H) + P_H(w_2)E_{Hw_2}(T_H) \quad (9)$$

$$P_H = \arg \min_{T \in G} [E(T_H)] \quad (10)$$

式中: T_H 为胶囊高度的最小误差阈值. 用类似的方法可分别求出胶囊宽度以及胶囊面积的最小误差阈值 T_W 、 T_A . 胶囊识别总体判别规则为: 若高度 $H > T_H$ 且宽度 $W > T_W$ 且胶囊区域面积 $M > T_A$, 则胶囊正常, 否则胶囊异常.

5 胶囊识别特征抽取

胶囊的特征抽取是利用胶囊所处的区域信息和二值化图像的边缘信息来提取的. 任取一胶囊区域 A_{ij} , 如图 7 所示. 特征搜索由两部分组成, 分为胶囊上半部搜索和下半部搜索. 搜索从胶囊中部开始, 有利于剔除胶囊头部的干扰. 定义: d_{00} 为胶囊当前行左边的边缘位置; d_{10} 为胶囊当前行右边的边缘位置; d_{01} 为胶囊前一行左边的边缘位置; d_{11} 为胶囊前一行右边的边缘位置; 当前行胶囊宽度 $w = d_{10} - d_{00}$; M 为胶囊区域所占像素; 区域 A_{ij} 的高度为 H_A , 宽度为 W_A . 以胶囊上半部搜索为例, 程序流程如下.

(1) 令 $I = H_A/2$; $M_{up} = 0$;

(2) 搜索当前行的胶囊左右边缘 d_{00} 、 d_{10} , 计算当前行宽度 $w = d_{10} - d_{00}$;

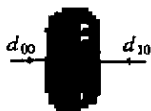


图 7 特征提取示意图

(3) 如果 $I = H_A/2$, 则胶囊中宽 $W_{temp} = w$, $d_{01} =$

d_{00} , $d_{11} = d_{10}$, 否则转至第 4 步;

(4) 如果 $w < 2$, 搜索到胶囊顶部, 令 $H_{up} = I$, 退出循环;

(5) 如果 $|d_{00} - d_{01}| > W_A/3$ 或 $|d_{10} - d_{11}| > W_A/3$, 搜索到胶囊宽度突变, 可能到达胶囊顶端, 也可能到达胶囊残缺位置, 令 $H_{up} = I$, 退出循环;

(6) $M_{up} = M_{up} + w$;

(7) $I = I - 1$, 如果 $I > 0$, 转至第 2 步继续搜索, 否则退出循环;

胶囊下半部搜索与上述搜索相类似, 获取参数 H_{down} 和 M_{down} , 则胶囊的关键特征参数为: $H = H_{down} - H_{up}$; $W = W_{temp}$; $M = M_{up} + M_{down}$.

6 结 论

针对胶囊完整性检测, 进行了如下研究: ①以边缘提取为指导, 通过投影算法和形态滤波确定出单个胶囊存在区域, 再利用 OTSU 算法进行区域二值化, 提取胶囊的关键特征; ②设计了基于最小错误率的贝叶斯分类器, 对胶囊进行分类, 判断药板是否缺损. 对大量的胶囊图像进行实验, 检测为合格品的正确识别率为 99.95%, 识别速率为 200 粒/s. 整个程序运算简洁、快速, 具有很高的实用价值.

参考文献:

- [1] Derganc J, Likar B, Bernard R. Automated visual inspection of color tablets in pharmaceutical blisters [EB/OL]. <http://biprogr.fe.uni-lj.si/JozeD/papers>, 2001-05-01/2002-03-01.
- [2] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C. A survey of thresholding techniques [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988, 41(2): 233-260.
- [3] 刘健庄, 栗文表. 灰度图像的二维 OTSU 自动阈值分割方法 [J]. 自动化学报, 1991, 19(1): 101-105.
- [4] 章毓晋. 图像分割 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 边肇祺. 模式识别 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

(编辑 刘 杨)

作者: [左奇](#), [史忠科](#)
作者单位: [西北工业大学自动控制系统, 710072, 西安](#)
刊名: [西安交通大学学报](#) [ISTIC](#) [EI](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF XI' AN JIAOTONG UNIVERSITY](#)
年, 卷(期): 2002, 36(12)
被引用次数: 6次

参考文献(5条)

1. [Derganc J;Likar B;Bernard R](#) [Automated visual inspection of color tablets in pharmaceutical blisters](#) 2001
2. [Sahool P K;Soltani S;Wong A K C](#) [A survey of thresholding techniques](#)[外文期刊] 1988(02)
3. [刘健庄;栗文表](#) [灰度图像的二维Otsu自动阈值分割方法](#) 1991(01)
4. [章毓晋](#) [图像分割](#) 2001
5. [边肇祺](#) [模式识别](#) 2000

本文读者也读过(10条)

1. [吴宏杰](#), [季剑兰](#), [朱音](#), [奚雪峰](#), [付保川](#), [WU Hong-jie](#), [JI Jian-lan](#), [ZHU Yin](#), [XI Xue-feng](#), [FU Bao-chuang](#) [一种胶囊缺陷检测系统的设计与研究](#)[期刊论文]-[电脑知识与技术](#)2010, 06(28)
2. [王军海](#) [残损胶囊图像检测系统的设计与研究](#)[学位论文]2008
3. [吕常魁](#) [面向药业质量控制的目标跟踪与缺陷检测技术研究](#)[学位论文]2004
4. [冯珊珊](#), [陈树越](#), [FENG Shan-shan](#), [CHEN Shu-yue](#) [基于图像分析的真假药胶囊颗粒识别方法研究](#)[期刊论文]-[传感器与微系统](#)2008, 27(8)
5. [王木林](#), [WANG Mu-Lin](#) [基于面包师算法的数字图像置乱处理研究](#)[期刊论文]-[绵阳师范学院学报](#)2007, 26(5)
6. [吴德](#) [基于图像处理的胶囊检测系统的设计与研究](#)[学位论文]2011
7. [韦琳](#), [胡荣强](#) [基于BP网络的胶囊药片自动检测系统](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#)2002, 19(4)
8. [张国生](#), [王政平](#), [汪国强](#), [马仁德](#), [ZHANG Guo-sheng](#), [WANG Zheng-ping](#), [WANG Guo-qiang](#), [MA Ren-de](#) [铝塑包装机中胶囊的红外在线有序排列检测](#)[期刊论文]-[包装工程](#)2006, 27(5)
9. [杨大成](#), [许晋华](#), [YANG Da-cheng](#), [XU Jin-hua](#) [一种基于DSP和图像识别的药品检测系统设计](#)[期刊论文]-[电气传动自动化](#)2006, 28(6)
10. [罗园山](#), [Luo Yuanshan](#) [空心硬胶囊生产线浸胶系统的改进](#)[期刊论文]-[明胶科学与技术](#)2010, 30(1)

引证文献(6条)

1. [吴宏杰](#), [季剑兰](#), [朱音](#), [奚雪峰](#), [付保川](#) [一种胶囊缺陷检测系统的设计与研究](#)[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2010(28)
2. [张国生](#), [赵翀](#), [宿剑锋](#), [李旸](#) [铝塑包装机中胶囊的红外气动在线有序排列](#)[期刊论文]-[光学与光电技术](#) 2010(6)
3. [白洁](#), [杨耀权](#), [陈余梅](#) [基于贝叶斯算法的二值化算法](#)[期刊论文]-[华北电力大学学报](#) 2007(3)
4. [张国生](#), [王政平](#), [汪国强](#), [马仁德](#) [铝塑包装机中胶囊的红外在线有序排列检测](#)[期刊论文]-[包装工程](#) 2006(5)
5. [朱铮涛](#) [基于计算机视觉图像精密测量的关键技术研究](#)[学位论文]博士 2004
6. [陈斌](#) [基于机器视觉技术的印刷质量在线检测关键技术研究](#)[学位论文]博士 2005