

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2314107

# 基于模板匹配及粗糙度纹理指标的液位检测算法\*

安国臣<sup>1</sup> 刘娟娟<sup>1</sup> 王雁<sup>2</sup> 王晓君<sup>1</sup>

(1.河北科技大学信息科学与工程学院 石家庄 050000; 2.国药集团威奇达药业有限公司 大同 037000)

**摘要:** 针对发酵液生产过程中发酵罐内液位检测的实际需求,提出一种基于模板匹配及粗糙度纹理指标的液位检测算法。首先,系统通过工业相机采集实时液位图像,并针对环境因素影响,进行图像预处理来提高采集图像质量;其次,对图像进行透视变换达到矫正目的;然后,对灰度化图像中的感兴趣区域进行模板匹配,粗范围寻找液位位置;最后,通过计算粗糙度纹理指标精确查找液位位置,从而得到准确的液位高度数据,并将数据滤波后输出。实验结果表明,基于模板匹配及粗糙度纹理指标的液位检测算法在实际应用中检测结果准确度达到98.2%以上,且具有抗干扰效果好、实时性强等优点。

**关键词:** 液位检测;图像矫正;模板匹配;纹理粗糙度;数据滤波

**中图分类号:** TP3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Liquid level detection algorithm based on template matching and roughness texture index

An Guochen<sup>1</sup> Liu Juanjuan<sup>1</sup> Wang Yan<sup>2</sup> Wang Xiaojun<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050000, China;

2. National Pharmaceutical Group Weiqida Pharmaceutical Co., Ltd., Datong 037000, China)

**Abstract:** Aiming at the practical needs of liquid level detection in fermentation tanks during the production of fermentation liquid, a liquid level detection algorithm based on template matching and roughness texture index is proposed. Firstly, the system collects real-time liquid level images from industrial cameras and performs image preprocessing to improve the quality of the collected images in view of the influence of environmental factors; secondly, perspective transformation is performed on the images to achieve the purpose of rectification; then, template matching is performed on the region of interest in the grayscaled image to search for the location of liquid level in a coarse range; finally, the roughness texture index is calculated to precisely search for the location of the liquid level, so as to obtain accurate liquid level height data, and the data is filtered and outputted. The experimental results show that the liquid level detection algorithm based on template matching and roughness texture index has an accuracy of more than 98.2% in practical applications, and has the advantages of good anti-interference effect and strong real-time performance.

**Keywords:** liquid level detection; image correction; template matching; texture roughness; data filtering

## 0 引言

随着工业相机性能不断提升及图像处理算法的不断改进,基于图像处理的液位检测成为了一个重要的研究方向<sup>[1-2]</sup>。液位的检测有许多方法,包括浮子式、压力式、超声波、雷达及光纤等,但在一些场景中,由于生产要求,必须采用非接触式测量,所以基于图像处理的液位测量技术更符合需求,且该方法具有应用广、体积小等优势。刘铭辉、车国霖等<sup>[3]</sup>提出一种 Lab 图像二值化检测水位线的测

量方法,采用二值化的方法区分图像中水位线,但经过实际测试,该方法不适用于溶液晃动剧烈的环境,其二值化阈值取值不能符合实际条件,因此计算产生的误判值较多。冯育龙等<sup>[4]</sup>采用帧间差分法检测运动目标从而计算棉流速度,但是算法复杂,计算量大,在实际生产中难以保证实时性。国外非接触式图像液位测量的研究中普遍使用浮子式测量方法<sup>[5]</sup>,如 Mauleoux 等<sup>[6]</sup>使用 3D 视觉相机和红色浮子构造液位测量系统,Goyal 等<sup>[7]</sup>加入其他浮子方式来测量液罐中的液位,该方法通过相机摄取液体表

收稿日期:2023-07-14

\* 基金项目:河北省省级科技计划项目——新一代电子信息技术创新专项(21310402D)资助

面浮子图像,计算浮子面积,根据近大远小的原理,将面积换算为像素信息从而得到液位值,但该方法在实际应用中具有一定的局限性,若未能采集到完整的浮子图像或图像中浮子形变较大,则计算的面积值误差较大,从而导致液位检测结果准确度较低。

因此,本文提出了一种基于机器视觉的模板匹配及纹理粗糙度的液位检测算法,用于某溶液发酵状态中液位高度的检测。

发酵是该溶液生产过程中的一个重要环节,由于不断搅拌会使溶液产生浮沫导致液位升高,因此需要实时监控并控制液位高度。目前,仍是采用传统的人工方式去实时观察液位高度,若发现液位较高,则需要及时手动加入一定量消沫剂来降低液位,该方法首先耗时较长,无法实时获取到每个罐体内的液位情况,若控制不及时会导致液体跑液产生损失或对溶液质量产生一定影响。传统的测量方法还需要耗费大量人工,且由于个人观感不同会添加不同剂量的消沫剂,难以保证产品质量的一致性。基于以上原因,本

文提出一种基于机器视觉的模板匹配及粗糙度纹理指标的液位检测新算法,通过工业相机全时段采集图像,并对采集到的图像实时通过模板匹配对液位进行粗测量,然后再采用粗糙度这个纹理指标进行液位高度的精测量,该方法能够实现液位的实时、准确获取,更加精准的控制液位高度。

## 1 算法流程

本文提出的基于模板匹配及粗糙度纹理指标的液位检测算法流程如图1所示。首先,对采集到的液位图像进行感兴趣区域的选择,根据实际光照情况进行直方图均衡化光照补偿<sup>[8]</sup>,得到目标区域的清晰图像<sup>[9]</sup>;其次,对该图像进行畸变矫正得到正视效果图像<sup>[10]</sup>;最后,通过图像模板匹配<sup>[11-14]</sup>及粗糙度指标<sup>[15-19]</sup>算法计算出液位高度数据,然后对得到的数据进行滤波<sup>[20]</sup>,减少因液面剧烈波动造成的计算数据不稳定,将最终结果输出实现对液位高度的精准控制。

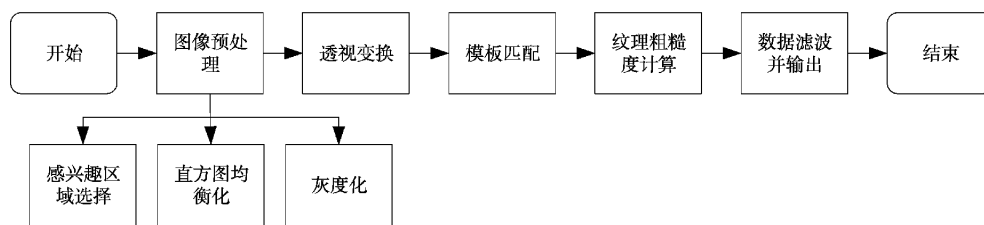


图1 算法流程图

### 1.1 图像预处理

在实际操作中,摄像机的安装位置会影响图像采集到的质量,为了简化工作过程,通过一些必要的预处理过程以提高图像质量,便于后续算法检测。在初步的图像采集过程中选取一部分图像作为感兴趣区域,这部分区域包含了所要研究的所有信息。

#### 1) 直方图均衡化

由于罐内灯光不足等影响,导致摄像机采集到的图像质量较差。采用直方图均衡化的方法对采集到的图像进行亮度和对比度的调整,其原理是使原本分布集中的像素值均衡的分布到所有可取值的范围,因此,图像既有明亮也有灰暗,从而改善图像亮度和对比度。

为了将原始图像的亮度范围进行扩展,需要一个映射函数,将原图像的像素值均匀映射到新直方图中,该映射函数的映射方法是:

$$s_k = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (1)$$

其中, $s_k$ 指当前灰度级经过累积分布函数映射后的值, $n_j$ 是当前灰度级的像素个数, $n$ 是图像中所有像素的总和, $L$ 是图像中灰度级的总数。

#### 2) 灰度化

图像灰度化的目的是为了简化矩阵,提高运算速度,

在本算法中所有图像均针对灰度图像进行处理计算,所以该步骤是必不可少的。

$$gray = (0.114 \quad 0.587 \quad 0.299) \begin{pmatrix} B \\ G \\ R \end{pmatrix} \quad (2)$$

用 $1 \times 3$ 的矩阵左乘从上至下依次为 $B$ 、 $G$ 、 $R$ 的 $RGB3 \times 1$ 矩阵,得到的则是一个灰度值,再将每个像素都应用该灰度值,则最终形成灰度图像。

### 1.2 图像畸变矫正——透视变换

图像畸变矫正是指由于摄像机制造精度以及组装工艺的偏差引入的畸变,或者由于照片拍摄时的角度、旋转、缩放等问题,可能会导致原始图像的失真,如果要修复这些失真,可以通过仿射变换、透视变换等方法对图像进行畸变矫正。在本次设计中,由于工业相机设备安装的局限性,采集到的图像中参考目标会具有一定角度的倾斜,这是不可避免的。图像中目标物体的倾斜导致像素值与实际值的比例关系改变,因此计算出来的实际值也将产生相应的变化,从而影响检测算法的准确性。经比较,本文选取透视变换对图像进行畸变矫正。

透视变换又称为投影映射,更加直观的可以称为空间变换或三维坐标变换。是将图片投影到一个新的视平面,可以认为是三维空间的物体都投影在了一个二维图像上

面。透视变换的目的就是把现实中为直线的物体,在图像中可能呈现为斜线,通过透视变换转换成直线的变换。

透视变换矩阵变换公式为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,透视变换矩阵  $A$  为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

源图像中要移动的坐标点为:

$$T = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

目标点,即要移动到的位置坐标点为:

$$B = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

从二维空间变换到三维空间,因为图像在二维平面,故除以  $Z$  转换为齐次坐标,将图片从三维变为二维坐标,  $(X, Y, Z)$  表示原图像上的点,  $(X', Y', Z')$  对应表示变换后图像上的点。

$$\begin{cases} X' = \frac{X}{Z} \\ Y' = \frac{Y}{Z} \\ Z' = \frac{Z}{Z} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} X' = \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \\ Y' = \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \\ Z' = 1 \end{cases} \quad (7)$$

一般情况下,另  $a_{33}=1$  (由于齐次坐标的缩放不变性,  $3 \times 3$  矩阵中 9 个参数不是相互独立的,可令任意一个参数为某个值,使得剩下 8 个参数相互独立),展开上述公式,可得到一个点为:

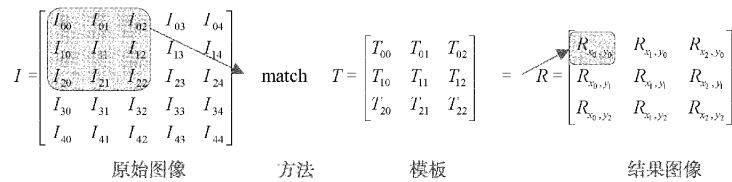


图 2 模板匹配过程(match 表示匹配方法)

第 1 步,从原始图像矩阵中提取与模板大小相同的图像矩阵  $I_1$ 。

第 2 步,计算模板图像  $T$  与提取到的图像矩阵  $I_1$  中各像素点的灰度差值。

第 3 步,对计算到的灰度值求和并取均值。

计算得到的结果  $R_{x_0, y_0}$  表示原图中第一块匹配区域  $I_1$  与模板  $T$  的相似度结果,其余同理。通过对计算出的所有匹配结果错位相减,寻找差值中的峰值点,得到包含液

$$\begin{cases} a_{11}x + a_{12}y + a_{13} - a_{31}xX' - a_{32}yY' - a_{33}yX' = X' \\ a_{21}x + a_{22}y + a_{23} - a_{31}xX' - a_{32}yY' - a_{33}yY' = Y' \end{cases} \quad (8)$$

由此,可求出变换矩阵  $A$ 。

在实际采集到的图像中,根据透视变换的方程组式(3)中有 8 个未知数,如果要解出该未知数,需要列八组方程,即分别在源图像和目标图像上人为选择 4 组映射点(根据实际情况选择待矫正目标的 4 个顶点),且这些点选取顺序需要一一对应,由 4 个点可确定一个三维空间,然后根据得到的透视变换矩阵  $A$  可完成变换过程,将采集到的图像实时矫正为正视图像,便于后续检测算法的实现。

### 1.3 模板匹配

在图像范围内进行模板匹配,其目的是粗范围的寻找确定液位所在的大概区域。在待检测灰度图像上从左到右,从上到下计算模板与重叠子图像的像素匹配度,模板是已知的最小图像,如果匹配的程度越大,则说明相同的可能性越大。本次采用的是灰度平均绝对差算法验证匹配结果,匹配结果值越小,说明匹配程度越高,反之则匹配程度低,效果差,计算公式如下。

$$R = \frac{\sum_0^N |T(x', y') - I(x, y)|}{N} \quad (9)$$

式中:  $T$  为模板图像每个参考点的灰度值,  $I$  为原始图像中取出的与模板图像相同尺寸的待匹配区域点的灰度值,  $N$  为总点数,即模板尺寸总点数( $rows \times cols$ ),  $R$  为输出结果,即匹配值。

如图 2 所示,例如要对一个  $5 \times 5$  的图像  $I$  取  $3 \times 3$  的模板  $T$  进行模板匹配,对  $I$  遍历匹配得到  $3 \times 3$  图像矩阵。从原始图像  $I$  左上角为起点,依次将模板  $T$  放入进行计算比对,步长越小计算量越大,根据实际情况设置匹配过程移动的步长像素值。

位的一定矩形区域图像,在该区域内通过计算粗糙度再进一步确定液位的具体位置。

### 1.4 纹理指标——粗糙度

粗糙度在图像纹理特征中是属于 Tamura 纹理特征在心理学角度上的 6 个属性之一,它是反应纹理中粒度的一个量,纹理的粗糙度与纹理基元的结构、尺寸及纹理基元的空间重复周期有关,对于不同结构的纹理模式来说,基元尺寸越大或者基元重复率越小,人的感官认为更粗糙。

在实际过程中,需要根据纹理区分的二者分别是溶液与发酵罐背景,溶液由于搅拌过程中的晃动导致纹理较粗糙,而固定背景纹理平滑程度较大,由此可选择粗糙度作为区分二者的关键纹理指标。

粗糙度与灰度空间变化的距离有关,即与构成纹理的原始元素的大小有关,所以计算过程考虑了不同大小的非重叠窗口的平均信号之间的差异,其计算过程如下:

1) 在每个像素 $(x, y)$ 处,计算其周围大小为 $2^k \times 2^k$ 的窗口内像素的平均值。

$$A_k(x, y) = \sum_{i=x-2^{k-1}}^{x+2^{k-1}-1} \sum_{j=y-2^{k-1}}^{y+2^{k-1}-1} f(i, j) / 2^{2k} \quad (10)$$

其中, $k=0, 1, 2, \dots, L_{\max}$ ,  $L_{\max}$  为最大窗口尺度, $f(i, j)$  为点 $(i, j)$  处的像素值。

2) 在每个像素上,计算水平方向和垂直方向上的非重叠窗口之间的平均绝对差值 $E_k(x, y)$ 。

$$E_{k,h}(x, y) = |A_k(x + 2^{k-1}, y) - A_k(x - 2^{k-1}, y)| \quad (11)$$

$$E_{k,v}(x, y) = |A_k(x, y + 2^{k-1}) - A_k(x, y - 2^{k-1})| \quad (12)$$

其中, $E_{k,h}(x, y)$  为该点水平方向差值, $E_{k,v}(x, y)$  为该点垂直方向差值。

3) 在每个像素处,找到使两个方向上的差异 $E_k(x, y)$ 最大的 $k$ 值,并设置对应值为最佳大小。

$$S_{best}(x, y) = 2^k \quad (13)$$

$$E_k = E_{\max} = \max(E_{k,h}, E_{k,v}) \quad (14)$$

4) 通过对整个图像的 $S_{best}(x, y)$ 求平均值来计算粗糙度特征 $F_{crs}$ 。

$$F_{crs} = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N S_{best}(x, y) \quad (15)$$

其中, $M$ 和 $N$ 表示图像的宽度和高度。

根据以上步骤对模板匹配得到的图像区域进行粗糙度计算,对计算结果进行支持向量机(support vector machine, SVM)分类,找到能够区分二者的阈值,根据结果与阈值进行比对从而区分液位的边缘,获取坐标点,由此可计算当前溶液实际液位高度值。

### 1.5 液位数据及其滤波

基于上述计算后,可以得到液位高度值,液位高度计算公式如下。

$$h_t = h_g - \sqrt{(loc.x - p_2.x)^2 + (loc.y - p_2.y)^2} \quad (16)$$

其中, $h_t$ 表示计算得到的液位高度值, $h_g$ 表示罐体的高度值, $loc.x$ 表示液位坐标点 $x$ 值, $p_2.x$ 表示直线起点坐标 $x$ 值,其余同理。得到的值小数部分向下取数并保留两位小数。

由于罐内溶液的不断搅拌,采集到的图像会出现由于液面翻滚造成数据误差,从而导致计算得到的高度值并非

真实的数据。因此,需要对从图像中计算得到的液位高度值进行数据滤波,剔除误判值并将数据平滑稳定后输出,保证数据的准确性。

该数据是线性数据,选用的是一阶 $\alpha\beta$ 滤波。 $\alpha\beta$ 滤波器是一种一维稳态的卡尔曼滤波器,不依赖于系统的具体模型,使用起来比较方便。其中 $\alpha, \beta$ 参数需要根据实际情况调试得到,一般 $\alpha, \beta$ 参数越大,滤波会更快,但噪声也会增大; $\alpha, \beta$ 参数越小,滤波后的值更平滑,但更耗时。为了保证系统的稳定性, $\alpha, \beta$ 参数的值必须是一个正值且很小,一般情况下满足下式:

$$\begin{aligned} 0 < \alpha < 1 \\ 0 < \beta < 2 \\ 0 < 4 - 2\alpha - \beta \end{aligned} \quad (17)$$

在本次设计中,根据实际情况及需求,以 $\alpha - \beta$ 滤波器为基础对数据进行滤波处理。

本次的研究对象是液位高度数据,由于液位上升速度缓慢,且设置的采集图片时间为1s,即 $\Delta t = 1$ s,此时可将两张图中液位上升速度看作 $\hat{v}(k) = 0$  m/s。因此可暂时不考虑速度对此次滤波产生的影响,滤波过程可简化为单个参数的 $\alpha$ 滤波。

在本次设计中,先采集一定数量的图像液位高度数据,并对其计算均值,此时将第一个均值 $tdMean$ 作为 $k$ 时刻的高度值 $\hat{x}(k)$ ,由此可得到 $k+1$ 时刻的值 $x(k+1|k)$ 。

$$x(k+1|k) = \hat{x}(k) + \Delta t \cdot \hat{v}(k)$$

$$\Rightarrow x(k+1|k) = tdMean + 1 \cdot 0 \quad (18)$$

则观测误差为:

$$\tilde{z}(k+1) = z(k+1) - x(k+1|k) \quad (19)$$

根据下一次入队的新值 $z(k+1)$ 可得到误差值 $\tilde{z}(k+1)$ ,因此根据公式,并代入,可计算 $k+1$ 时刻输出的值为:

$$\hat{x}(k+1) = tdMean + \alpha \cdot \tilde{z}(k+1) \quad (20)$$

根据实际情况调试后,设置 $\alpha$ 取值为0.1。

第一次计算完之后将 $\hat{x}(k+1)$ 赋值给 $\hat{x}(k)$ ,便于下一次的计算预测。由此得到实时滤波后的数据,将数据输出,由后续操作控制液位高度。

## 2 实验验证

为了验证上述算法对溶液液位检测的准确性与实时性,本文基于C++开发环境、Opencv3.4视觉库进行了仿真实验验证,并在实际工厂安装设备进行了算法实验验证。

### 2.1 模板匹配

对采集到的图像进行模板匹配,根据已知模板计算匹配结果,计算过程如1.3节。由图像高度及匹配步长可知匹配次数为102,即可得到102个模板匹配结果,数据如



表 1 所示,其中,值越小说明匹配相似度越高,反之,值越大说明匹配相似度低,差异性大。

表 1 模板匹配结果

| 模板匹配实验数据(步长=10) |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 7.292 5         | 6.414    | 5.763    | 5.033 5  | 4.396 5  | 4.09     | 3.588    | 2.953    | 2.273    | 1.9355   |
| 1.704           | 1.978 5  | 2.75     | 3.422 5  | 4.165    | 4.8135   | 5.386 5  | 5.808 5  | 6.1075   | 6.363    |
| 6.687 5         | 6.897 5  | 7.305 5  | 7.732    | 8.295 5  | 9.018    | 9.769    | 10.558 5 | 11.469 5 | 12.513   |
| 13.639 5        | 14.628 5 | 15.579 5 | 16.574   | 17.559 5 | 18.694 5 | 20.111   | 21.584 5 | 22.895   | 24.111 5 |
| 25.353          | 26.676   | 28.033 5 | 29.584 5 | 31.202 5 | 32.9     | 34.528 5 | 36.022   | 37.639   | 39.247   |
| 40.819          | 42.36    | 43.723 5 | 44.827 5 | 45.697 5 | 46.266 5 | 46.473   | 46.3465  | 45.769 5 | 44.804   |
| 43.412 5        | 42.038   | 40.864 5 | 39.642   | 38.197 5 | 36.473 5 | 35.198   | 35.452   | 37.494 5 | 42.213   |
| 50.243          | 60.477   | 71.816   | 83.918   | 97.155 5 | 111.254  | 125.219  | 137.953  | 149.157  | 157.856  |
| 163.513         | 166.807  | 168.746  | 169.87   | 169.855  | 168.958  | 167.592  | 165.966  | 164.32   | 162.749  |
| 161.209         | 159.667  | 158.105  | 156.618  | 155.12   | 153.491  | 151.834  | 149.923  | 147.363  | 144.602  |
| 140.978         | 136.042  |          |          |          |          |          |          |          |          |

对图像模板匹配的结果进行错位相减,如第  $i$  块模板为黑色背景,第  $i+1$  块模板为白色溶液,对其灰度像素做差得到差值较大,而对两个相似模板做差,由于灰度像素区别较小,所以得到差值较小。因此,寻找所有差值数据中的最大差值,可找到由背景到溶液变化的区域。

如图 3 所示曲线为 5 幅不同液位图像进行模板匹配后错位相减得到的差值数据,其  $x$  轴表示图像匹配次数,  $y$  轴表示相邻匹配图像灰度差值,各曲线峰值点即为匹配结果模板所在位置。以图 3 中图例为“图 1”的数据曲线为例,其峰值点为坐标为(74,14.098 5),该坐标表示第 74 块模板为像素灰度差值最大值位置,即匹配结果,需对该结果图像进行下一步处理。

如图 4(a)~(h)所示是实际工厂中采集到图像后完整的处理过程。

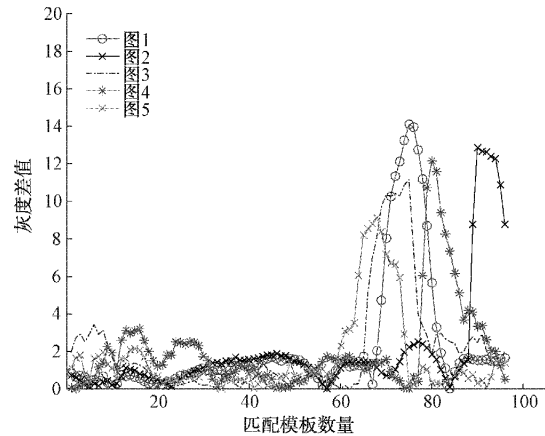


图 3 模板匹配结果示意图

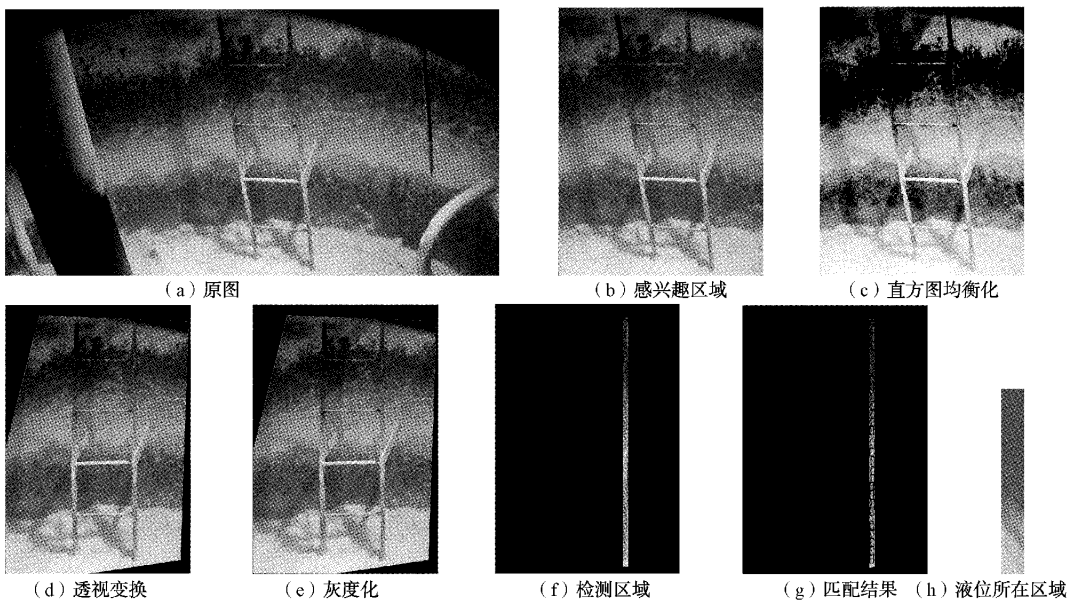


图 4 图像处理流程结果图

根据上述仿真结果得到灰度差值峰值点为液位所在区域,在实际运行过程中进行验证(以采集到的某幅图像为例),最终得到图4(h)所示,其结果为溶液与背景共存的图像,由得到的图像可知上述方法可以确定出液位所在的区域图像,之后可以对该图像计算粗糙度纹理指标确定具

体的液位边缘坐标。

## 2.2 纹理指标——粗糙度

背景纹理图像与溶液纹理图像各选100组进行粗糙度检测,得到实验数据如表2、3所示(以各20组数据为例,窗口 $k=3$ )。

表2 背景区域纹理粗糙度计算结果

| 实验数据    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5.141 7 | 5.031 7 | 5.589 2 | 4.844 6 | 5.246 3 | 5.022 5 | 5.227 9 | 5.236 3 | 5.473 1 | 5.015 7 |
| 5.131 7 | 5.260 0 | 4.827 0 | 5.080 6 | 5.110 3 | 5.050 0 | 5.397 5 | 5.391 4 | 5.157 7 | 5.282 9 |

表3 溶液区域纹理粗糙度计算结果

| 实验数据    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5.478 4 | 5.890 0 | 5.944 3 | 5.641 1 | 5.806 8 | 5.929 0 | 5.707 5 | 5.670 1 | 5.588 4 | 5.949 6 |
| 5.449 4 | 5.790 0 | 5.982 4 | 5.080 6 | 6.015 3 | 5.569 3 | 5.504 4 | 5.667 8 | 5.443 3 | 5.601 4 |

为得到区分溶液与背景的粗糙度阈值,对溶液与背景各100组粗糙度检测的数据进行SVM算法分类,分类结果如图5所示,其x轴表示粗糙度数据个数,y轴表示粗糙度值,根据绘制的最佳超平面得到区分背景与溶液粗糙度的阈值为5.4027。

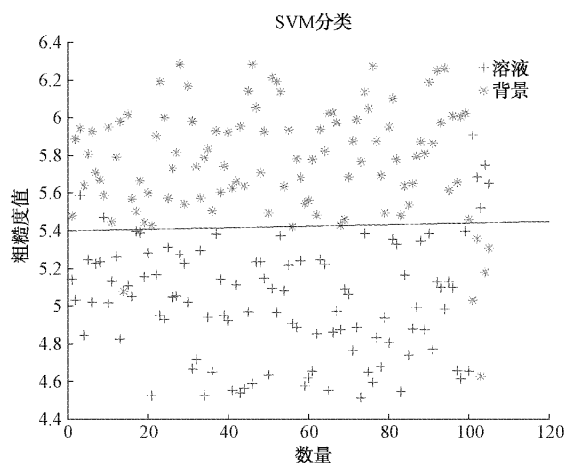


图5 支持向量机分类结果

经实际测试验证,当选取阈值为5.4027时,表2、表3中数据的背景粗糙度计算正确率为94.29%,溶液粗糙度计算正确率为93.33%,检测结果准确度高。

根据仿真结果得到的粗糙度阈值对2.1得到的实际结果图像区域内从上至下进行粗糙度计算,每隔20个像素点对其周围像素点计算粗糙度,当区分溶液与背景的粗糙度阈值为5.4027时,得到液位点区域如图6所示。获取该矩形区域内中心坐标作为液位点,根据1.5中计算过程,得到最终结果如图7所示。

由上述计算过程对实际采集到的某幅图像处理后的最终结果如图7所示,该图像为最终给到用户的显示画面,图中用直线及数据显示的方式清晰地展示当前时刻的



图6 粗糙度检测结果

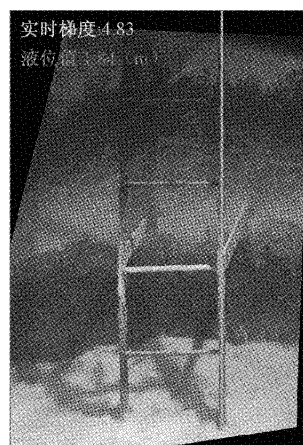


图7 输出效果图(当前液位高度1.84 m)

液位值。

## 2.3 实验对比

对文献[3]中提出的Lab二值化的水位线检测方法以及文献[4]提出的帧差法进行仿真实验,计算得到的不同高度液位数据与本次设计计算得到的液位数据比较如表4所示(5组液位数据为例)。

由表4数据可知,Lab(颜色空间)二值化在液位较高时,计算得到的结果出现的误判值较多,准确率为84.8%,帧间差分法计算准确率为92%,本设计准确率为98.2%,若忽略人工读数的不确定性,本次设计得到的液位数据准确度较高。根据实际运行时CPU占用率对比可知,Lab二

值化占用 CPU 资源 13.6%，帧间差分法占用资源较多，占比 27.3%，本设计算法占用资源 13.8%。经对比可知，本

设计检测结果准确度高且运行时 CPU 占用率较小，更适合在实际生产过程中应用。

表 4 不同方法实现及 CPU 占用对比

| 算法对比           | 液位数据 |      |      |      | 准确率/% 运行时 CPU 占用率/% |      |      |
|----------------|------|------|------|------|---------------------|------|------|
| 颜色空间转换的二值化     | 4.33 | 3.48 | 2.83 | 2.26 | 1.42                | 84.8 | 13.6 |
| 帧间差分法          | 4.25 | 3.78 | 2.73 | 1.98 | 1.31                | 92.0 | 27.3 |
| 模板匹配及粗糙度纹理指标算法 | 4.27 | 3.69 | 2.78 | 2.01 | 1.22                | 98.2 | 13.8 |
| 实际值(人工读取)      | 4.30 | 3.70 | 2.80 | 2.00 | 1.20                |      |      |

### 3 结 论

本文针对某溶液发酵过程中的检测控制工艺，提出了基于机器视觉的液位检测方法，通过工业相机实时采集罐内溶液变换的视频流，在视频流中定时截取一帧图像，使用图像处理的方法对溶液液位高度进行检测，使用模板匹配的方法粗处理确定大概范围，再采用 Tamura 纹理特征中的粗糙度指标，精确确定液位高度，最后采用  $\alpha\beta$  滤波器平滑输出结果。根据实际测试结果验证可知，该方法能够实时准确判断液位高度，根据检测结果能够更加精准控制消沫剂的使用，大大的提高了控制准确度和及时性，提高了生产自动化程度，降低了人力和生产成本。然而本文提出的模板匹配与粗糙度纹理指标结合的方法在液位检测方面相关的研究成果较少，本次提出的方法虽经过检测可以较好的实现算法及相关功能，但在其他不同场景下的液位检测能力尚未研究，需通过进一步实验验证，并提高算法鲁棒性，因此这也是我们课题组下一步研究的一个重要方向。

#### 参考文献

- [1] 张衍,王剑平,张果,等. 图像法水位检测研究进展[J]. 电子测量技术,2021,44(13):104-113.
- [2] 吴祝清,谭逢富,李冬秀,等. 基于 YOLOv5 的试管样本液位检测[J]. 中国医疗设备,2023,38(4):61-67.
- [3] 刘铭辉,车国霖,张衍,等. 一种不定长水尺图像水位测量方法[J]. 仪器仪表学报,2021,42(7):250-258.
- [4] 冯育龙,许涛. 基于帧差法与 SURF 匹配的异纤机棉流速度测量[J]. 轻工机械,2022,40(6):65-70,75.
- [5] 付耀衡,彭泳卿,刘鹏,等. 基于图像处理的液位测量技术研究现状与发展趋势[J]. 遥测遥控,2020,41(4):18-27.
- [6] MAULEDOUX M, ROBINSON J M, PAOLA A N S. Tank level measurement using 3D vision systems[J]. International Journal of Applied Engineering Research, 2018,13(18):13772-13775.
- [7] GOYAL R, NARESH K, KANNADASAN R, et al. Gas level detection using magnetic reed float level sensor[J]. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience,2018,15(9):2805-2809.

- [8] 杨李奇,李昱龙,骆阳,等. 基于 AI 视觉的交通标志识别与车辆控制[J]. 电子技术与软件工程,2022(20):157-161.
- [9] 凌双明. 智能视觉机器人图像灰度化处理方法研究[J]. 山西电子技术,2023(2):88-91.
- [10] 赵晨,谢谟文,黄正均,等. 基于图像匹配的库水位变动识别研究[J/OL]. 中国测试:1-7[2023-06-26].
- [11] 燕磊,孙启媛,朱菲菲. 基于 Oriented FAST 和 MAD 的特征匹配图像自动配准[J]. 计算机与数字工程,2017,45(9):1859-1862.
- [12] 王闯,贺莹,张妍典. 一种基于 MAD 的地磁匹配导航方法[J]. 微型机与应用,2017,36(23):84-85.
- [13] 尤世军,赵梓龙,张建敏. 一种基于模板匹配的芯片 Frame 图像分割算法[J]. 软件工程,2023,26(5):11-14
- [14] 杨程翔,丁勇,李登华. 基于模板匹配的接缝宽度变化测量方法[J/OL]. 激光杂志:1-7[2023-07-11].
- [15] 魏文达,刘成霞. 扭曲视错服装图案的 Tamura 纹理特征及其影响因素研究[J]. 丝绸,2021,58(7):77-82.
- [16] 杨悦,赵英亮. 基于改进 GLCM 和 Tamura 特征的工件表面粗糙度检测[J]. 现代电子技术,2023,46(9):66-72.
- [17] WANG H J, HE D Q, WU Y X, et al. Real-time welding condition monitoring by roughness information extracted from surface images [J]. Measurement, 2022, 191:110833.
- [18] 陈毅. 基于数字图像处理的表面粗糙度检测[J]. 机械设计与制造,2018,332(10):210-212,216.
- [19] 李娜,熊志勇,谢瑾,等. 基于 Tamura 纹理特征提取和 SVM 的多模态脑肿瘤 MR 图像分割[J]. 中南民族大学学报(自然科学版),2018,37(3):144-149.
- [20] 唐若男,王运锋. 基于稳定度的自适应  $\alpha\beta$  滤波的实现[J]. 计算机应用研究,2020,37(S2):87-89.

#### 作者简介

安国臣,副教授,主要研究方向为实时信号处理。

E-mail: angch @163. com.

刘娟娟(通信作者),硕士研究生,主要研究方向为计算机视觉与图像处理。

E-mail: 2276285284 @qq. com.