

BOPET 薄膜中气泡的检测及识别方法研究

陈宝远, 李紫贺, 刘景阳, 兰雅琼, 于晓洋

(哈尔滨理工大学 测控技术与仪器黑龙江省高校重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 双向拉伸聚酯薄膜(BOPET)中的气泡直接影响产品质量,准确快速地检测与识别气泡有重要意义.提出了一种基于LVQ神经网络的BOPET薄膜气泡的检测与识别方法.该算法对采集到的薄膜图像进行处理得到薄膜疵点轮廓,提取长宽比、圆形度、形状复杂性及伸长度4个特征值,输入至已经训练好的基于LVQ神经网络的气泡识别系统中识别气泡并确定其位置与面积.LVQ神经网络的设计是通过研究BOPET薄膜中气泡的特征,提取特征输入向量,通过训练用的特征值的输入使神经网络达到学习和预测的目的.通过实验测试表明,此方法能满足BOPET薄膜中气泡的检测要求.

关键词: LVQ神经网络; Canny边缘检测; 聚酯薄膜; 气泡检测

DOI: 10.15938/j.jhust.2015.01.012

中图分类号: TP274 文献标志码: A 文章编号: 1007-2683(2015)01-0061-05

Detection and Identification Methods Research of the Air Bubble in BOPET

CHEN Bao-yuan, LI Zi-he, LIU Jing-yang, LAN Ya-Qiong, YU Xiao-Yang

(Higher Educational Key Laboratory for Measuring & Control Technology and Instrumentations of Heilongjiang Province, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Air bubble in biaxially oriented polyester film(BOPET) directly affects the quality of the product, and accurate detection and quick recognition of bubble have important significance. This study presents a bubble in BOPET detection and identification method based on Learning Vector Quantization (LVQ) neural network. In this algorithm, the film images were processed and the outlines of the membrane defects were obtained. Through extracting the aspect ration, circularity, complexity and elongation, the characteristic values of membrane defects, which from the image of film images after image processing, and then input to the bubble recognition system based on LVQ neural network that had been trained. Finally the bubble was distinguished from the other membrane defects, and the recognition system returned the location and area of the bubble in BOPET. Through the study of features of the bubbles in BOPET and extracted some quantities as character input of the LVQ neural network, then input some characteristic values as training value into the LVQ neural network to achieve the learning and prediction purpose, and the The design of the LVQ neural network was designed. The experiments show that, the proposed method can meet the requirements analysis of air bubbles in BOPET film.

Key words: LVQ; canny edge detection; BOPET; air bubble detection

收稿日期: 2014-01-05

基金项目: 哈尔滨理工大学自制仪器设备项目(2012XZA04014); 黑龙江省教育厅教学研究项目(JG2013010302).

作者简介: 陈宝远(1970—),男,副教授,硕士研究生导师,E-mail: chenbaoyuan@126.com;

李紫贺(1988—),男,硕士研究生;

刘景阳(1986—),女,硕士研究生.

0 引言

双向拉伸聚酯薄膜(BOPET)是塑料包装材料中使用最为广泛的一种,一般厚度为12 μm,具有机械强度高、透气性小、电绝缘性好等性能^[1-3]。气泡不仅影响薄膜的外观效果,也是薄膜产生破膜的主要原因^[4]。因此,气泡成为影响聚酯薄膜质量的重要因素,在生产过程中准确快速地检测及识别气泡可及时分析气泡产生的原因并及时调整,以提高产品质量及生产效率^[5]。

目前,已有针对薄膜疵点的检测方法提出^[6-7],但是尚未有针对BOPET中气泡检测与识别方法。本文采用了基于LVQ神经网络的气泡的检测与识别方法,通过获取薄膜图像,经过图像预处理后提取长宽比、圆弧度、形状复杂性及伸长度4个特征值等作为LVQ神经网络的特征值输入,经过判断后识别薄膜中的气泡与非气泡,并给出其位置及面积。

1 BOPET 薄膜图像的获取及处理过程

通常情况下使用的图像采集设备是CCD传感器,这种采集方式不仅使用方便,而且成本低。在图像采集过程中,容易受到的各种外界因素的干扰,需要对采集到的图像进行预处理^[8-9]。经过一系列处理后,检测到薄膜疵点图像并进行特征提取,根据LVQ神经网络来识别疵点类型。

气泡的检测与识别的过程一般包括图像预处理、特征边缘提取、识别气泡、气泡面积计算及质心的确定,具体如下:

① 图像预处理: 预处理包括图像灰度化、平滑去噪,可滤除噪声使边缘信息更容易提取; ② 图像分割: 选择阈值分割法对图像进行二值化处理,处理后的疵点与背景对比明显; ③ 边缘检测: 再经canny算子进行边缘提取,得目标图像边缘; ④ 形态学图像处理: 通过对气泡边缘的封闭、填充等操作得到疵点完整的轮廓; ⑤ 特征提取: 对目标图像的轮廓进行特征值的提取,提取的特征值作为LVQ神经网络的判断的输入; ⑥ 目标识别: 将提取到的疵点图像输入到已训练好的网络中,识别气泡与非气泡并给出其位置及面积。

气泡提取流程图如图1所示。

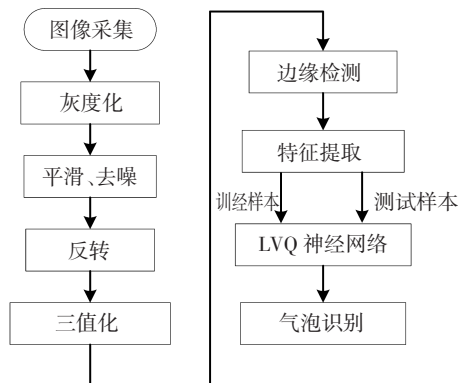


图1 气泡提取流程图

2 BOPET 薄膜图像的预处理

在薄膜生产过程中,由于挤出机压力波动可造成大气泡的产生,气泡最大约25 cm²。若PET原料没有得到充分干燥,在进行成型加工时,微量的水分也会造成小气泡的产生。气泡是因气体作用而产生的,一般成圆形或椭圆形,气泡边缘较光,有明显的边界。在薄膜的生产过程中也会出现其他的疵点,如灰尘、绒毛等^[10]。气泡及其他疵点的图像如图2所示。

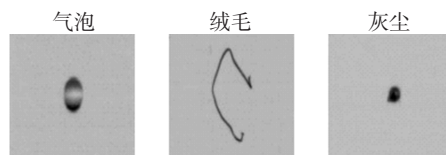


图2 BOPET 薄膜疵点图像

2.1 图像去噪

在图像的采集过程中,由于摄像机精确度、照明环境等因素的影响,采集的图像会存在一定的随机噪声,图像平滑的主要目的是减少图像噪声。本文采用既可以去噪声的干扰,又能很好的保留图像边缘细节的中值滤波算法^[11]。

中值滤波的原理是首先选择一个含有奇数点的窗口 W ,将这个窗口在图像上扫描,把该窗口中所含有的像素点按灰度级的升(或降)序排列,取位于中间的灰度值,来代替该点的灰度值,即

$$g(m, n) = \text{Media}\{f(m-k, n-1), (k, 1) \in W\} \quad (1)$$

2.2 图像分割

阈值分割是基于区域的,通过将图像划分为区域内部点集各区域外部点集来实现。常用的二值化的阈值分割,就是将图像中灰度值大于阈值 T 的像素置为白(置为1),将灰度值小于等于阈值 T 的像素置为黑(置为0),从而使原始的灰度图像 $f(x, y)$

转换成了黑白二值图像 $g(x, y)$. 经二值化阈值处理后的图像 $g(x, y)$ 如公式 (2) 所示

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > T \\ 0 & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2)$$

在阈值分割中,阈值的选取直接影响着图像的分割的结果. 在本文中,由于薄膜图像的背景一般为均匀的灰度图像,疵点与背景区别较明显,故选用全局阈值分割法. 经过多次实验,选用阈值为 $T = 165$. 阈值分割法分割后的图像如图 3 所示.



图 3 阈值分割图像

2.3 图像边缘检测

边缘是图像最基本的特征,具有灰度值不连续的性质,存在于图像中的物体与背景、物体与物体之间,包含了目标物体边界的主要信息. Canny 边缘检测算子是一种基于二阶导数的算子,它不是通过微分算子检测边缘,在满足一定约束条件下推导出的边缘检测最优化算子^[12].

Canny 算子边缘检测的基本原理是: 采用二维高斯函数的任一方向上的一阶方向导数为噪声滤波器,通过与图像 $f(x, y)$ 卷积进行滤波; 然后对滤波后的图像寻找图像梯度的局部极大值,以确定图像边缘. Canny 算子能很好地检测出气泡边缘. 但同时也会出现非封闭边缘、孤立点以及气泡内的线条边缘等,因此需要对边缘检测后的图像进行数学形态学处理. 薄膜疵点边缘检测结果如图 4 所示,边缘检测后的图像内部有空洞.



图 4 边缘检测图像

2.4 二值图像的形态学处理

二值图像是图像处理时的一种特殊图像,只有两个灰度级 0 和 1,具有占用空间小的特点. 腐蚀和膨胀是形态学处理的两个基本操作. 假设 A 为待处理区域, B 为结构元素, A 用 B 来腐蚀的定义为

$$A \oplus B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (3)$$

A 被 B 膨胀,定义为

$$A \ominus B = \{x | [\hat{B}]_x \cap A \subseteq A\} \quad (4)$$

填充是在二值图像中填充图像区域和空洞. 已知图像边界的集合,对该边界线包围的区域的填充过程是从区域内的某一点 P 开始做迭代运算,当 $X_k = X_{k-1}$ 时停止迭代,这时,集合 X_k 和 A^c 的交集就包含了填充区域的内部以及它的边^[13].

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c, K = 1, 2, 3 \dots \quad (5)$$

腐蚀在数学形态学中的作用是消除物体的边界点,消除不相关的细节,膨胀的作用与腐蚀相反,是对图像边界进行扩充,将裂缝连接起来. 气泡图像经过预处理及边缘检测得到的图像中有部分非封闭的轮廓,并且在气泡内外有一些不相关的边缘及孤立点. 膨胀和腐蚀可以解决以上问题^[14]. 经过空洞填充的图像如图 5 所示.



图 5 空洞填补图像

3 气泡特征提取及识别算法

经过薄膜图像的处理,可以得到薄膜中各种疵点的轮廓. 根据气泡的图像特征进行提取,将提取到的特征值作为 LVQ 神经网络的输入,通过神经网络的判断识别出 BOPET 薄膜中的气泡.

3.1 气泡特征提取及识别

图像特征提取是图像识别的关键步骤,根据图像的特征进行识别分类^[15-16]. 气泡一般呈圆形或椭圆形,气泡边缘较光滑,而其他疵点的图像比较复杂. 故选用长宽比、圆形度、形状复杂性、伸长度 4 个特征进行提取,作为 LVQ 神经网络的输入变量,其中

$$Aspect \ Ratio = \frac{Maxlength}{Minlength} \quad (6)$$

$$Circularity = \frac{4\pi Area}{Perimeter^2} \quad (7)$$

$$Complexity = \frac{Perimeter^2}{Area} \quad (8)$$

$$Elongation = \frac{Maxlength - Minlength}{Maxlength + Minlength} \quad (9)$$

对于训练样本数量的确定常用的方式是拇指原则,所以本实验采用了 100 个不同的样本(70 个训练样本,30 个测试样本)进行实验,不但有效减少了

LVQ 网络的输入量,而且也建立了高效、稳定的神经网络做了准备。

对图像处理后的 BOPET 薄膜图像进行特征值选取,通过 Matlab 编程计算,依次求得特征值。将随机选取的部分训练样本测试实验结果以表格的形式表示,如表 1 所示。

表 1 部分训练样本分析结果

长宽比	圆形度	形状复杂性	伸长度	是否为气泡	仿真结果
1.833 3	0.826 6	15.202 6	0.294 1	是	是
1.842 1	0.851 6	14.756 4	0.296 3	是	是
2.283 6	0.081 8	153.593 4	0.390 9	否	否
1.258 7	0.948 7	13.246 4	0.125 0	否	否
1.647 1	0.449 1	27.979 5	0.244 4	否	否
1.852 1	0.834 4	15.102 5	0.294 5	是	是

3.2 LVQ 神经网络结构的设计

LVQ 神经网络又叫学习向量量化 LVQ (learning vector quantization) 神经网络,它是一种有监督学习与无监督学习规则融合应用的神经网络。LVQ 网络是从联想学习和竞争算法发展而来,因其简单易行的结构特点,在模式识别和优化领域有着广泛的应用。

LVQ 网络各层的数学描述如下: 设输入向量用 X 表示:

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_M]^T$$

输入层到竞争层之间的权值矩阵用 W^1 表示:

$$W^1 = [w_{11}^1, w_{12}^1, \dots, w_{1M}^1, w_{21}^1, w_{22}^1, \dots, w_{2M}^1, \dots, w_{J1}^1, w_{J2}^1, \dots, w_{JM}^1]$$

竞争层的输出用 V 表示:

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_J]^T$$

输出层的输出用 O 表示:

$$O = [o_1, o_2, \dots, o_L]^T$$

网络的期望输出用 d 表示:

$$d = [d_1, d_2, \dots, d_L]^T$$

竞争层到输出层之间的权值矩阵用 W^2 表示^[7-18]:

$$W^2 = [w_{11}^2, w_{12}^2, \dots, w_{1L}^2, w_{21}^2, w_{22}^2, \dots, w_{2L}^2, \dots, w_{J1}^2, w_{J2}^2, \dots, w_{JL}^2]$$

竞争层的每个神经元通过学习原型向量,并对输入空间进行分类。将竞争层学习得到的类称为子类,将输出层学习得到的类称为目标类^[9]。LVQ 神经网络结构模型如图 6 所示。

LVQ 学习算法步骤如下:

1) 设置变量和参量。

参与训练的有 $X = 70$ 幅图像,提取的输入特

征向量是 4 个。70 张薄膜疵点图像分为 2 类(气泡与非气泡),所以目标向量为 70×2 的向量,其中每一列中只有一个“1”,其余均为“0”。 $W_{il}(t) = [W_{i1}(t), W_{i2}(t), \dots, W_{iL}(t)]^T$ 为权值向量。选择学习速率的函数 $\eta = \eta_0(1 - t/T)$ 。

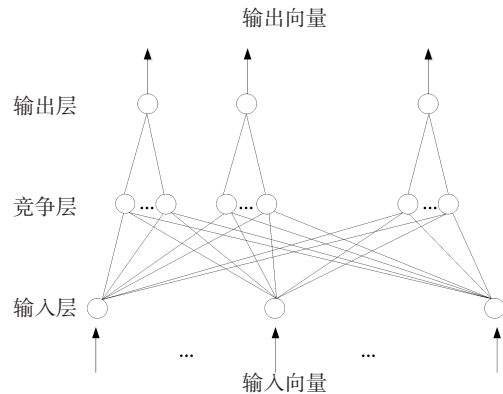


图 6 LVQ 神经网络结构模型

2) 初始化权值向量及学习速率。

在初始状态下,所有神经元都拥有相同的权值 $W_i(0)$,即为这些向量的中间值。初值 $\eta(0)$ 设为 0.1,阈值 $\varepsilon > 0$ 。

3) 输入训练样本,计算输入向量与权值向量之间的距离,找到与输入向量距离最小的权值向量,从而找出获胜的神经元,实现神经元的竞争过程。

4) 期望误差的选取和网络结构的确定。期望误差初始值设为 0.01,学习函数用 LVQ1,最大训练步数设为 1 000,开始对网络进行训练。

5) 判断分类是否正确,根据如下规则调整获胜神经元的权值向量: 如果 $L_X = L_{W_c}$,则 $W_c(t+1) = W_c(t) + \eta(t) [X - W_c(t)]$; 否则,当 $L_X \neq L_{W_c}$,有 $W_c(t+1) = W_c(t) - \eta(t) [X - W_c(t)]$ 。对于其他神经元,保持权值不变。

6) 调整学习速率 $\eta(t)$ 。在初始阶段, $\eta(t)$ 通常取较大的值,表示算法迅速修正较大的误分类权值,随着时间的进行, $\eta(t)$ 越来越小,表明使用较小的学习系数来修正较小的误分类权值,以至在学习完成后,误分类的样本数得到最少。

7) 判断迭代次数是否超过 T ,如果 $t \leq T$ 就转到第 3) 步,否则就结束迭代过程^[20]。

4 实验测试

实验中分别采集了不同情况下的 70 个训练样本进行 LVQ 神经网络训练,并最终选定了竞争层神

经元个数为 5、学习率为 0.01 的 LVQ 神经网络模型作为气泡别系统的网络进行测试. 将所选的 30 个不同条件下的样本作为网络的测试样本, 通过训练好的 LVQ 网络进行测试验证. 将图 2 中的样本进行测试, 得到的实验结果如表 2 所示.

表 2 图 2 的样本分析结果

长宽比	圆形度	形状复杂性	伸长度	是否为气泡	仿真结果
1. 832 5	0. 849 6	15. 756 4	0. 301 9	是	是
2. 386 3	0. 092 3	155. 601 1	0. 401 0	否	否
1. 196 3	0. 896 5	13. 258 3	0. 119 8	否	否

通过对全部测试样本的计算分析, 得出其识别正确率为 98.5%. 最终对图 2 的 BOPET 检测与识别结果如表 3 所示.

表 3 图 2 的识别结果

序号	质心	面积/pix	是否为气泡
1	(100. 669 1, 54. 076 4)	1 348	是
2	(96. 690 9, 102. 448 7)	1 912	否
3	(100. 823 2, 54. 596 0)	198	否

5 结 语

本文在 Matlab R2012a 环境下编译, 选用了 100 个不同的样本(70 个训练样本, 30 个样本). 由训练样本进行 LVQ 神经网络训练, 神经网络竞争层神经元个数为 5、学习率为 0.01. 通过对全部测试结果的计算分析, 得出其识别正确率为 98.5%, 并且其识别时间仅需 0.68 s. 实验数据表明, 本算法可满足 BOPET 薄膜中气泡的识别与定位要求, 也适用于其他透明与半透明介质的气泡识别与检测.

参 考 文 献:

- [1] 冯树铭. PET 薄膜的性能及其改性 [J]. 聚酯工业, 2009, 22 (1): 15-18.
- [2] HASHEMI S, XU Y. Thermal Effects on Fracture of Biaxial-oriented Poly(Ethylene terephthalate) (BOPET) Film [J]. Journal of Materials Science, 2007, 42 (15): 6197-6204.
- [3] SUN Jie, TIAN Hua-yu, BAI Yong-ping. Graft Polymerization of Acrylic acid and Acrylamide onto BOPET Corona Films [J]. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed, 2004, 19 (2): 90-93.
- [4] 滕岩. PET 薄膜生产过程中“气泡”破膜分析 [J]. 聚酯工业, 2012, 25(1): 50-51.
- [5] 赵允贵. 2013 年国内塑料薄膜行业发展情况分析 [J]. 塑料包装, 2014, 24(1): 1-7.
- [6] 刘艳. 基于 CCD 扫描的聚合物薄膜缺陷检测关键技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2011: 11-20.
- [7] 樊向党, 林波, 沈文和. 塑料薄膜表面疵点检测及识别方法研究 [J]. 工业控制计算机, 2011, 24(5): 74-75.
- [8] 刘艳秋. 线阵 CCD 的液位测量装置的设计研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012: 15-18.
- [9] 熊露. 千万级像素 CCD 摄像机的关键技术研究 [D]. 合肥: 电子科技大学, 2012: 25-29.
- [10] 滕岩. 干膜用聚酯薄膜产生疵点的原因 [J]. 聚酯工业, 2011, 24(5): 44-45.
- [11] 赵高长, 张磊, 武风波. 改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用 [J]. 应用光学, 2011, 32(4): 678-682.
- [12] BISWAS Ranita, SIL Jaya. An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Type-2 Fuzzy Sets [J]. Procedia Technolog, 2012, 4: 820-824.
- [13] 刘丽, 苏赋, 田芳, 等. 基于 Matlab 的图像感兴趣区域提取 [J]. 现代电子技术, 2013, 36(8): 117-120.
- [14] 高红霞, 褚夫国, 万燕英. 基于 X 光检测的元器件任意形状气泡提取方法 [J]. 半导体检测与测试技术, 2012, 37(10): 815-818.
- [15] 翟俊海. 图像特征提取研究 [J]. 河北大学学报, 2009, 29(1): 106-112.
- [16] 薛婷, 孙梅, 张涛. 类椭圆特征自动识别及亚像素提取的完整实现 [J]. 光电子激光, 2008, 19(8): 1076-1078.
- [17] 魏海坤, 丁维明, 宋文忠, 等. LVQ 网的动态设计方法 [J]. 控制理论与应用, 2002, 19(5): 673-680.
- [18] MICHAEL Biehl. Admire LVQ—Adaptive Distance Measures in Relevance Learning Vector Quantization [J]. KI-Kunstliche Intelligenz, 2012, 26 (4): 391-395.
- [19] SANO K, MOMOSE S, TAKIZAWA H, et al. Efficient Parallel Processing of Competitive Learning Algorithms [J]. Parallel Computing, 2004, 30(12): 1361-1383.
- [20] 钟明霞. 基于 LVQ 神经网络的微钙化分类方法 [J]. 计算机时代, 2011, 4: 7-9.

(编辑: 温泽宇)