

基于四光源光度立体法的药品泡罩包装中铝箔缺陷检测方法

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.03.007

黄秀玲¹ 陆宏建¹
任超¹ 黄崇杏²

1. 上海大学
机电工程与自动化学院
上海 200444

2. 广西大学
广西清洁化制浆造纸与
污染控制重点实验室
广西 南宁 530004

摘要: 为了提高药品泡罩包装中铝箔缺陷检测效率,提出了基于四光源光度立体法的铝箔缺陷检测方法。利用四光源光度立体法可以高效、准确地获得待测对象的表面梯度信息,接着使用表面梯度信息得到待测对象的表面高斯曲率,再对表面高斯曲率图进行形态学处理,最后从灰度图像中有效分割铝箔缺陷区域。实验结果表明,本方法可以有效地检测铝箔缺陷,缺陷检测的准确率在91%以上。

关键词: 四光源光度立体法; 铝箔缺陷; 梯度信息; 高斯曲率

中图分类号: TP274

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2018)03-0047-05

0 引言

药品是一种关系到人们身体健康和生命安全的特殊商品,因此其整个生产流程备受人们关注^[1]。包装作为药品的重要组成部分之一,具有传达药品信息、保护药品质量等功能。目前,药品的包装形式主要为袋装、瓶装和铝塑泡罩包装。其中,铝塑泡罩包装因具有便携性好、独立密封、取药卫生等特点,成为当今制药行业应用较为广泛、发展较为迅速的包装形式之一。但是在热封工艺中,用于封装的铝箔容易出现划痕、破损、皱皮等缺陷,这些缺陷不仅破坏了药品包装的完整性,同时也会对药品质量产生严重的影响。药品一旦出现质量问题,这将对药品企业造成严重损害,还将威胁到消费者的健康和生命安全。因此,检测药品的铝箔是否存在缺陷是一项非常重要的工作。

目前,较多的制药企业是通过人工检测产品缺陷。人工检测方法效率低,不能满足流水线生产的

要求,且受人的主观因素影响较大,人长时间工作,容易疲劳,致使缺陷药品的漏检、误检等。为了提高企业生产的自动化水平,国内外专家、学者对药品缺陷检测技术进行了研究。大恒图像在机器视觉领域有较出色的表现,研发了全自动泡罩检测机。谢丹毅等^[2]开发了药品包装缺陷检测系统,该系统利用变窗轮廓跟踪法对圆形药片进行检测,可有效检测存在空泡、残缺、裂纹等缺陷的药品。美国康耐视公司也推出了相关的药品包装缺陷检测系统,该系统运算速度快、功能强大。

存在划痕、破损、皱皮等缺陷的铝箔表面有较明显的曲率变化,这可作为检测铝箔缺陷的重要特征。因此,本文提出了基于四光源光度立体法的药品泡罩包装中铝箔缺陷检测方法,即通过四光源光度立体法得到待测对象表面的梯度信息,进而得到表面高斯曲率,最后通过阈值分割铝箔缺陷。本方法可以为药品包装检测提供理论参考。

收稿日期: 2018-04-14

基金项目: 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室开放基金资助项目(KF201707)

作者简介: 黄秀玲(1978-),女,山东青岛人,上海大学副教授,博士,硕士生导师,主要研究方向为食品保鲜技术及包装技术, E-mail: xiulh@shu.edu.cn

1 经典光度立体法

光度立体法是经典的三维重建技术^[3],最早由 R. J. Woodham^[4]提出。与双目视觉等三维重建技术相比,光度立体法具有适用性广、硬件成本低、效率高等特点^[5-6],在表面质量检测、三维重建、包装印刷等领域有着广阔的应用前景。

经典光度立体法由3个位置不同、光照强度相同的光源,相机和待测对象组成(见图1)。该方法先利用相机拍摄待测对象在不同光源照射下的一组图像,然后根据朗伯理想漫反射模型^[7]计算待测对象的表面法向量和 x 、 y 方向的梯度信息。

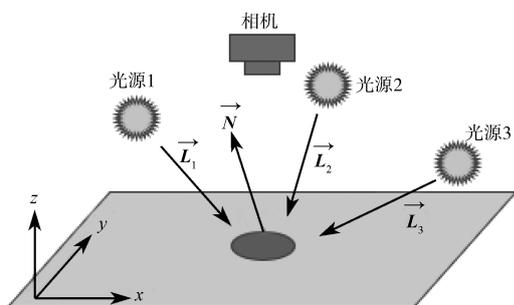


图1 经典光度立体法原理图

Fig. 1 Diagram of classical photometric stereo technique

朗伯理想漫反射模型中,漫反射光的光强按公式(1)计算,

$$I = \rho L N. \quad (1)$$

式中: I 为图像传感器光亮度;

ρ 为待测对象的表面反射率;

$L = (L_x, L_y, L_z)$ 为光源的单位方向向量;

$N = (N_x, N_y, N_z)^T$ 为待测对象的表面某点的单位法向量。

根据式(1),可得不同光源下由相机拍摄的3幅图像中某像素的亮度, I_1, I_2, I_3 分别为

$$\begin{cases} I_1 = \rho L_1 N, \\ I_2 = \rho L_2 N, \\ I_3 = \rho L_3 N. \end{cases} \quad (2)$$

将式(2)变换为矩阵形式,即

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} L_x^1 & L_y^1 & L_z^1 \\ L_x^2 & L_y^2 & L_z^2 \\ L_x^3 & L_y^3 & L_z^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{bmatrix}. \quad (3)$$

由于 N 和 L 为单位向量,可得:

$$\rho = \|L^{-1}I\|, \quad (4)$$

$$N = \frac{L^{-1}I}{\rho}. \quad (5)$$

由此可得待测对象的表面梯度,即在 x 、 y 方向的高度梯度 p 和 q ,

$$p = \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{N_x}{N_z}, \quad (6)$$

$$q = \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{N_y}{N_z}. \quad (7)$$

经实验测试可知,由经典光度立体法得到的待测对象的表面梯度并不能直观地反映药品铝塑泡罩包装中铝箔存在缺陷的问题。因此,本课题组通过表面梯度信息与高斯导数卷积得到表面高斯曲率,以检测铝箔缺陷。

2 检测原理

2.1 四光源光度立体法

受图像噪声及光照条件变化等因素的影响,经典光度立体法的误差较大,检测结果并不理想。为解决上述问题,本课题组采用四光源光度立体法^[8],通过添加一个约束条件,以便更准确地求解待测对象的表面梯度。

不同光源下由相机拍摄的4幅图像中某像素的反射光亮度如下:

$$\begin{cases} I_1 = \rho L_1 N, \\ I_2 = \rho L_2 N, \\ I_3 = \rho L_3 N, \\ I_4 = \rho L_4 N. \end{cases} \quad (8)$$

式(8)的矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} L_x^1 & L_y^1 & L_z^1 \\ L_x^2 & L_y^2 & L_z^2 \\ L_x^3 & L_y^3 & L_z^3 \\ L_x^4 & L_y^4 & L_z^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{bmatrix}. \quad (9)$$

可知式(9)为超定线性方程组,其解可由最小二乘法求得,即

$$\rho = \left\| (L^T L)^{-1} (L^T I) \right\|, \quad (10)$$

$$N = \frac{(L^T L)^{-1} (L^T I)}{\rho}. \quad (11)$$

则得

$$p = -\frac{(L_x^T L_x)^{-1} (L_x^T I)}{(L_z^T L_z)^{-1} (L_z^T I)}, \quad (12)$$

$$q = -\frac{\begin{pmatrix} L_y^T L_y \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} L_y^T I \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} L_z^T L_z \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} L_z^T I \end{pmatrix}} \quad (13)$$

可知, 四光源光度立体法可以更加准确有效地获取待测对象的表面梯度信息。这为后续的处理打下了坚实的基础。

2.2 表面高斯曲率

获取的表面梯度信息通常被用于重建待测对象的表面高度。在铝箔缺陷检测中, 表面高度信息并不能有效识别缺陷, 相反表面曲率信息可以有效地识别缺陷。

待测对象的表面高斯曲率 K 可以通过表面梯度 $f(r, c)$ 与高斯导数卷积得到^[9-10]。 $f(r, c)$ 为

$$f(r, c) = (u(r, c), v(r, c)), \quad (14)$$

式中: r 为图像中的行坐标;

c 为图像中的列坐标;

$u(r, c)$ 为待测对象表面在点 (r, c) 处的行梯度分量, 其值等于 p ;

$v(r, c)$ 为待测对象表面在点 (r, c) 处的列梯度分量, 其值等于 q 。

表面高斯曲率为

$$K = \frac{\frac{\partial^2 f(r, c)}{\partial r^2} \cdot \frac{\partial^2 f(r, c)}{\partial c^2} - \frac{\partial^2 f(r, c)}{\partial r \partial c} \cdot \frac{\partial^2 f(r, c)}{\partial c \partial r}}{\left(1 + \frac{\partial f(r, c)}{\partial r} + \frac{\partial f(r, c)}{\partial c}\right)^2} \quad (15)$$

得到表面高斯曲率后, 将图像上每一点的高斯曲率转化为灰度值, 即将待测对象表面的高斯曲率转化为曲率图像。对曲率图像进行分割阈值, 以实现铝箔缺陷检测。

3 实验

本课题组对药品铝塑泡罩中铝箔缺陷进行了检测。实验的主要硬件有: USB 3.0 接口数字摄像机, 水星系列 MER-503-36U3M/C-L 型, 由中国大恒(集团)有限公司北京图像视觉技术分公司生产; 2/3" 靶面镜头, AZURE-3514M5M 型, 由福州浩蓝光电有限公司生产; 条形 LED 光源, VLTX3D86 × 29R6G/B/W-24 V 型, 由上海纬朗光电科技有限公司生产。

检测前, 先标定 4 组光源的位置, 即获得光源与相机光轴的夹角 α (见图 2a)、投影到待测对象平面的光线与水平轴的夹角 β (见图 2b)。测试结果表明,

光源与相机光轴成 45° 左右均匀分布时, 光度立体效果较佳。

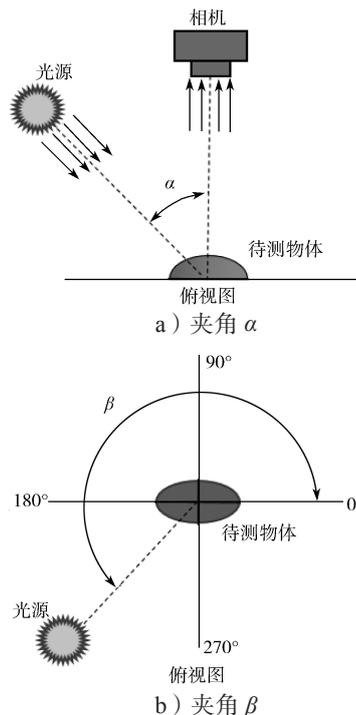


图 2 光源位置

Fig. 2 The location of light

确定光源位置之后, 利用相机在不同光源照射下拍摄某药品的铝塑泡罩, 得到一组灰度图像(见图 3)。由图可知, 铝塑缺陷与背景融合导致其无法检测。



a) 1 号光源下采集的图像



b) 2 号光源下采集的图像



c) 3号光源下采集的图像

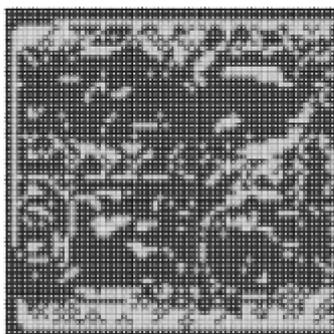


d) 4号光源下采集的图像

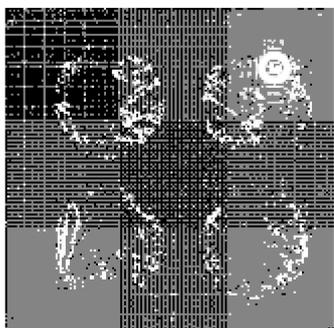
图3 某药品铝塑泡罩包装的灰度图像

Fig. 3 Gray image of a press through packaging

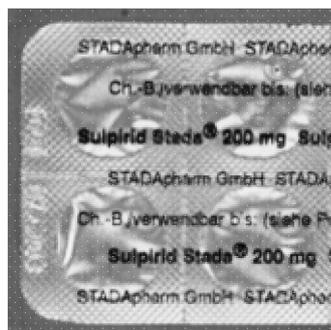
图4是铝塑缺陷检测图。由图可知：从待测对象的表面梯度图像无法获取铝塑缺陷信息；经形态学处理后的表面高斯曲率图像有曲率变化明显的区域（见图4b圆圈标志），即铝塑缺陷。



a) 表面梯度图



b) 表面高斯曲率图



c) 检测结果图

图4 铝塑缺陷检测图

Fig. 4 Diagram of defect detection

本课题组对不同铝箔缺陷进行了检测，检测结果如表1所示。由表可知，本方法的检测率在91%以上，这说明本方法能准确地检测铝箔缺陷。

表1 不同铝箔缺陷的检测数据

Table 1 Inspection data of aluminum foil defects

类型	样本 / 片	检出数 / 片	漏检量 / 片	检测率 / %
划痕	197	181	16	91.88
破损	197	191	6	96.95
皱皮	197	187	10	94.92

4 结语

四光源加黑白相机的光度立体法具有图像分辨率高、硬件结构简单，可有效降低图像噪声、光源变化等因素对检测精度的影响等优点。因此，本课题组提出将四光源光度立体法与待测对象的表面高斯曲率相结合的方法来检测药品铝塑泡罩包装中铝箔缺陷。实验结果表明，该方法能有效检测铝箔缺陷。本方法对于包装缺陷检测具有一定的理论意义和实用价值。

参考文献：

- [1] 杨忠敏. 解读药品的铝塑泡罩包装及其应用与发展 [J]. 印刷质量与标准化, 2015(2): 11-17.
YANG Zhongmin. Interpret the Application and Development of Press Through Packaging[J]. Printing Quality & Standardization, 2015(2): 11-17.
- [2] 谢丹毅. 药品泡罩包装缺陷机器视觉检测技术的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2007.
XIE Danyi. Drug Blister Packaging Defects Based on Machine Vision Technology[D]. Changsha: Central South University, 2007.

- [3] 佟 帅, 徐晓刚, 易成涛, 等. 基于视觉的三维重建技术综述 [J]. 计算机应用研究, 2011, 28(7): 2411-2417.
TONG Shuai, XU Xiaogang, YI Chengtao, et al. Overview on Vision-Based 3D Reconstruction[J]. Application Research of Computers, 2011, 28(7): 2411-2417.
- [4] WOODHAM R J. Photometric Method for Determining Surface Orientation from Multiple Images[J]. Optical Engineering, 1980, 19(1): 1-22.
- [5] 王 磊, 徐 科. 基于光度立体的钢带表面缺陷三维检测方法 [C]// 第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会. 北京: 冶金工业出版社, 2015: 1-5.
WANG Lei, XU Ke. 3D Defect Detection of Steel Strips Based on Photometric Stereo[C]//Proceedings of the 10th CSM Steel Congress & the 6th Baosteel Biennial Academic Conference. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2015: 1-5.
- [6] 赵良振. 光度立体在机器视觉中的应用研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
ZHAO Liangzhen. Application Research on Photometric Stereo in Machine Vision[D]. Xi'an: Xidian University, 2013.
- [7] HAHLOWEG C, ROTHE H. Lambert's Multiple Reflection Model Revisited[C]//Proceedings of SPIE. [S. l.]: SPIE, 2011, 8127: 1-10.
- [8] BARSKY S, PETROU M. The 4-Source Photometric Stereo Technique for Three-Dimensional Surfaces in the Presence of Highlights and Shadows[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1239-1252.
- [9] ZHANG H, NIU Y X, ZHANG H. Small Target Detection Based on Difference Accumulation and Gaussian Curvature Under Complex Conditions[J]. Infrared Physics & Technology, 2017, 87: 55-64.
- [10] BRITO-LOEZA C, CHEN K, UC-CETINA V. Image Denoising Using the Gaussian Curvature of the Image Surface[J]. Numerical Methods for Partial Differential Equations, 2016, 32(3): 1066-1089.

The Method of Aluminum Foil Defect Detection in Medicine Packaging Based on Four-Light Photometric Stereo Method

HUANG Xiuling¹, LU Hongjian¹, REN Chao¹, HUANG Chongxing²

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200444, China;
2. Guangxi Key Laboratory of Clean Pulp & Papermaking and Pollution Control, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of aluminum foil defect detection in medicine bubble wrap, a new aluminum foil defect detection method based on four-light photometric stereo method was proposed. The surface gradient information of the object under test was obtained efficiently and accurately using four-light photometric stereo method. The gradient information of the object under test was used to get the surface Gaussian curvature, which was then treated by morphology processing. Finally from the gray image, aluminum foil defect area was segmented effectively. The experimental results showed that this method could effectively detect aluminum foil defects, the accuracy of defect detection was above 91%.

Keywords: photometric stereo; aluminum foil defect; gradient information; Gaussian curvature