

基于形态学与投影直方图的轮胎杂质缺陷检测

于向茹^{1,2,3}, 丁健配⁴, 李金屏^{1,2,3}

(1. 济南大学信息科学与工程学院, 山东济南 250022; 2. 山东省网络环境智能计算技术重点实验室, 山东济南 250022;
3. 山东省“十三五”高校智能信息处理与感知重点实验室, 山东济南 250022; 4. 山东深图智能科技有限公司, 山东济南 250022)

摘要: 针对胎侧和胎肩的杂质缺陷检测, 提出了一种基于形态学和投影直方图的方法. 首先, 图像预处理分割胎侧与胎肩, 降低花纹等因素对杂质检测的影响; 其次, 用局部大津法对图像进行二值化处理, 以形态学操作从背景中提取杂质; 然后, 纵向滤波去掉毛刺; 最后, 根据水平及垂直方向投影确定杂质的位置. 由于杂质的位置是随机的, 而且投影曲线符合方波模型, 因此根据上述特点筛选检测结果. 实验结果表明, 该方法能够有效地检测花纹外面的杂质, 而且能够满足系统对实时性的要求.

关键词: 轮胎杂质; 缺陷检测; 投影直方图; 形态学; 方波; 纵向滤波

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.0253-2778.2019.01.007

引用格式: 于向茹, 李金屏. 基于形态学与投影直方图的轮胎杂质缺陷检测[J]. 中国科学技术大学学报, 2019, 49(1):49-54.

YU Xiangru, DING Jianpei, LI Jinping. Tire impurity defect detection based on morphology and projection histogram[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2019, 49(1):49-54.

Tire impurity defect detection based on morphology and projection histogram

YU Xiangru^{1,2,3}, DING Jianpei⁴, LI Jinping^{1,2,3}

- (1. School of Information Science and Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China;
2. Shandong Provincial Key Laboratory of Network Based Intelligent Computing, Jinan 250022, China;
3. Shandong College and University Key Laboratory of Information Processing
and Cognitive Computing in 13th Five-year, Jinan 250022, China;
4. Shandong Shen Tu Intelligent Science & Technology Co. Ltd., Jinan 250022, China)

Abstract: A method based on morphology and projection histogram is proposed, which aims at detecting impurities in the sidewall and shoulder of the tire. Firstly, image preprocessing is used to segment the sidewall and shoulder, decreasing the negative influence caused by the tread pattern. Secondly, the binarized images are obtained by using OTSU in the local area, while impurities are extracted from the background by morphological operation. Then, vertical filtering is performed to remove burrs. Finally, the impurity is located by vertical and horizontal projections. The position of the impurity is random, and the projection curves of impurities are consistent with the square wave model, so the impurities are filtered

收稿日期: 2018-06-19; **修回日期:** 2018-09-18

基金项目: 国家自然科学基金(61701192); 山东省重点研发计划(2017CXGC0810); 山东省科技重大专项(新兴产业)项目(2015ZDXX0801A03); 山东省教育科学规划“教育招生考试科学研究专设课题”(ZK1337212B008)资助.

作者简介: 于向茹, 女, 1993年生, 硕士生. 研究方向: 数字图像处理, 机器学习与模式识别. E-mail: 1109859677@qq.com

通讯作者: 李金屏, 博士/教授, ise_lijp@ujn.edu.cn

according to the above characteristics of impurity. The experiments show that the proposed method can effectively detect impurities in the sidewall and shoulder outside the tread pattern, and that it can also meet the system requirement of real-time performance.

Key words: tire impurity; defect detection; projection histogram; morphology; square wave; vertical filter

0 引言

据统计,全国 46%左右的交通事故是由于轮胎质量问题引起的,因此如何有效的检测轮胎缺陷,保证轮胎质量引起了业界的关注.

轮胎 X 光图像如图 1 所示,其中 a 为钢丝圈, b 为胎侧, c 为胎肩, d 为胎冠.

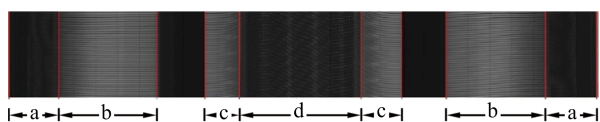


图 1 轮胎 X 光图像

Fig. 1 X-ray image of tire

由于原料、制作工艺等因素的影响,轮胎可能会出现杂质、帘线交叉、弯曲等缺陷.如图 2 所示,其中 (a) 为胎侧杂质, (b) 为胎肩杂质, (c) 为胎冠杂质, (d)、(e) 和 (f) 分别为胎侧帘线交叉、弯曲和断裂.我们主要研究轮胎的胎肩、胎侧的杂质缺陷检测.

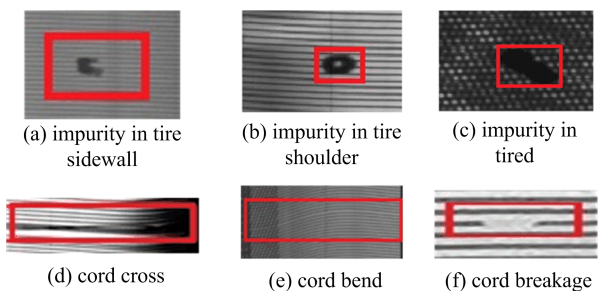


图 2 轮胎缺陷

Fig. 2 Samples of tire defects

1 相关工作

目前常用的轮胎无损缺陷检测技术主要有激光散斑干涉、光带投影和 X 射线成像.

激光散斑干涉技术通过对比抽真空前后的散斑图像完成缺陷检测^[1-3].由于抽真空,因此这种方法速度慢、成本高且杂质的检测效果较差.光带投影对机械装置要求较高^[4-5].

X 射线成像通过透射轮胎,得到如图 1 所示的轮胎平面图.目前基于 X 射线成像的轮胎缺陷检测工作主要分为以下两类:一类是人工观察,这种方式

易引起视觉疲劳而且主观性强.另一类是基于图像处理算法的轮胎缺陷自动检测,由于国内轮胎缺陷检测起步较晚,因此这部分工作较少.

如图 2 所示,存在缺陷的区域与正常区域差别主要体现在形态、灰度与纹理 3 个方面,因此杂质缺陷检测的方法可分为基于特征向量,形态学和灰度及纹理这 3 类.

文献[6-9]通过对比有缺陷与正常图像的特征向量确定缺陷及其类型. Xiang 和原培新等使用标准字典学习无缺陷图像的特征向量^[6,9]. Guo 等使用局部核回归算子学习特征向量^[7]. Cui 等根据主成分残差判断缺陷^[8].虽然基于特征向量的方法取得了一定的效果,但是由于轮胎的成分复杂,因此误报率偏高^[6-10].

基于形态学的方法主要通过形态学操作从背景中提取杂质.张茂强等结合最小值滤波和形态学操作去掉帘线^[10-11].应崎伟首先使用列最佳阈值得到二值化图像、形态学腐蚀孤立杂质,最后根据面积筛选杂质^[12].虽然基于形态学的能够提取杂质,但是有较多的毛刺,而且这种方法一般只适合胎侧杂质缺陷检测^[10-12].

杂质的灰度低于其周围的局部背景的灰度,而且没有明显的纹理结构^[13-15]. Zhang 等首先对图像进行分解,得到对应的分量,再结合形态学与改进的 Canny 算法确定缺陷^[13].朱越在细化的胎侧图像上判断轮胎杂质缺陷^[14].宋开勇等利用用灰度共生矩阵^[15].虽然基于灰度与纹理的方法充分考虑了杂质的特点,但是仍然存在以下缺点:首先,分解胎侧图像难度较大;其次,细化的胎侧图像中交叉重叠与杂质几乎一致,很难区分.

针对上述方法中存在的误报率较高等问题,结合杂质的灰度和纹理等特点,本文提出了一种基于形态学与投影直方图的杂质缺陷检测方法.首先,由于胎肩、胎侧与胎冠,钢丝圈的灰度差别较大,因此局部自适应二值化分割出胎侧、胎肩;再用伽马矫正改善轮胎花纹等因素对杂质缺陷检测的影响;然后,用局部大津法得到二值化胎侧与胎肩,以形态学

膨胀提取杂质,并通过纵向滤波去掉毛刺;最后,水平垂直投影,根据投影变化是否符合方波模型筛选杂质.由于花纹的分布是有规律的,因此可根据灰度跳变次数确定花纹的位置.为了避免杂质与帘线交叉混淆,本文方法在未经细化的原图上进行.本文的主要贡献如下:

(I)提出了一种基于形态学和投影直方图的轮胎胎肩、胎侧图像的杂质缺陷检测方法;

(II)通过观察和分析大量杂质图像,提出了水

平与垂直方向的杂质投影曲线变化模型;且为了平滑毛刺,进一步提出了水平及垂直方向的纵向滤波模板;

(III)胎肩花纹的分布是有一定规律的,因此提出了根据跳变次数确定胎肩花纹位置的方法降低了误报率.

2 本文方法

本文算法流程图如图 3 所示.

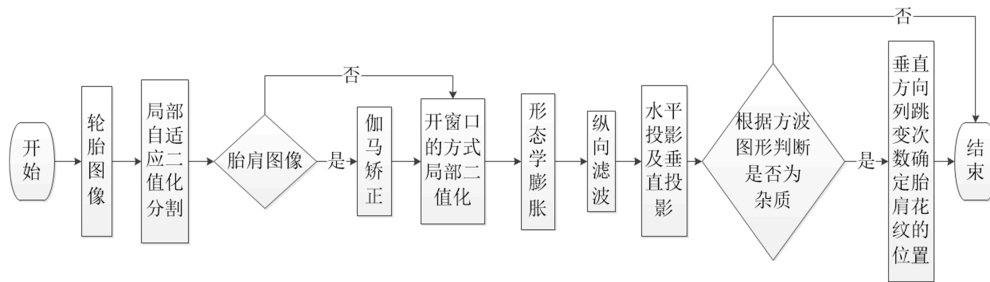


图 3 轮胎杂质缺陷检测流程图

Fig. 3 Flowchart of impurities defect detection on tire

2.1 图像预处理

轮胎的胎侧、胎肩、胎冠和钢丝圈 4 者的灰度等差别较大,在杂质缺陷检测前,首先分割出胎侧与胎肩图像.

本文用局部自适应二值化的方法增强上述 4 部分的对比度,并根据垂直投影直方图确定胎侧与胎肩的边界^[17],分割结果如图 4 所示.

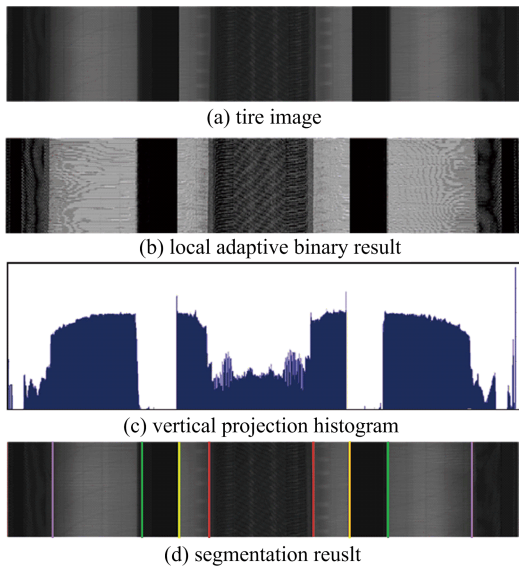


图 4 轮胎图像分割结果

Fig. 4 Segmentation of tire image

胎肩与胎冠相邻,容易受到花纹等因素的影响造成胎肩图像灰度不均匀.为了避免影响杂质缺陷

检测,对胎肩图像伽马矫正,效果如图 5 所示,(a)为原始图像,(b)为伽马矫正后的结果.

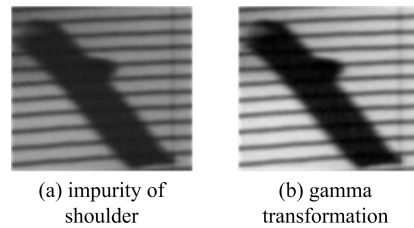


图 5 伽马矫正的结果

Fig. 5 The result of Gamma transformation

胎侧图像比较简单,为了避免缺陷漏报,对胎侧图像不做任何预处理.

2.2 轮胎杂质缺陷检测

为了尽可能地保留图像信息,本文方法均是在未细化的原图上进行.

2.2.1 局部大津法

大津法,简称 OTSU^[16].根据图像的灰度,计算最佳阈值将图像分为前景和背景两部分,即使得

$$\eta(k) = \delta_B^2 / \delta_W^2 \quad (1)$$

取得最大值时的阈值 k . 式中, δ_B^2 为类间方差, δ_W^2 为类内方差,且

$$\delta_W^2 = \omega_0 \delta_0^2 + \omega_1 \delta_1^2 \quad (2)$$

$$\delta_B^2 = \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (3)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^L i p_i / \omega_1 \quad (4)$$

$$\omega_1 = \sum_{i=k+1}^L p_i \quad (5)$$

$$p_i = \frac{N_i}{N} \quad (6)$$

式中, μ_0, μ_1 与 μ_T 分别为前景、背景及整体均值. ω_0 与 ω_1 分别为前景与背景的累计分布概率. p_i 表示像素的灰度为 i 的概率. N 为图像的像素总数, N_i 为灰度为 i 的像素数, L 为图像的灰度级, 一般为 256.

虽然整体上大津法能够较好地将前景与背景分离, 但是杂质面积较小, 很难影响图像的整体灰度分布, 因此我们提出局部大津法对胎侧胎肩图像进行二值化. 经过多次测试, 当窗口大小为 5×5 时, 杂质与背景能够较好地分开, 而且能够避免整体用大津法导致的杂质漏报等问题.

2.2.2 形态学膨胀与纵向滤波

如图 6 所示, 图 6(a) 为局部大津法二值化后的结果, 杂质与帘线混在一起, 因此在二值化后的图像上直接检测杂质, 难度较大.

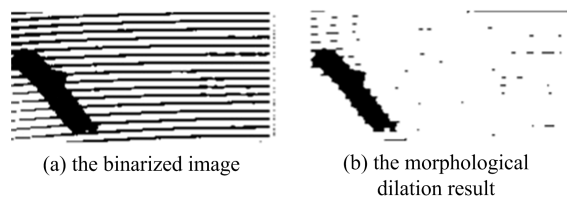


图 6 形态学膨胀与纵向滤波的结果

Fig. 6 The result of morphological dilate and vertical filter

由于杂质的宽度大于帘线的宽度, 因此为了在保留杂质的基础上去掉帘线, 我们用形态学膨胀的方法将杂质从帘线中孤立出来, 结果如图 6(b) 所示.

形态学处理后的图像存在很多细小的毛刺, 这些毛刺影响杂质的精确定位. 为了去掉毛刺产生的影响, 我们设计了相应的水平垂直方向滤波模板对膨胀后的图像进行纵向滤波.

纵向滤波的模板如图 7 所示. 其中 7(a) 为水平

方向滤波模板, 7(b) 为垂直方向滤波模板.

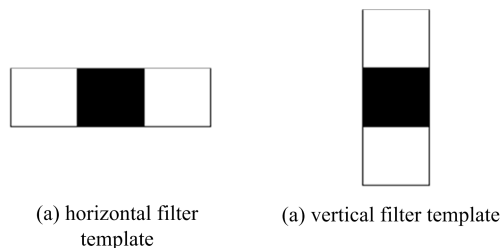


图 7 纵向滤波模板

Fig. 7 The filter template of vertical filter

纵向滤波是指按列扫描二值化图像, 并将符合图 7 模板的毛刺去掉, 从而得到较为平整的二值化轮胎图像, 方便后续的投影及投影变化曲线分析. 纵向滤波的结果如图 8(b) 所示.

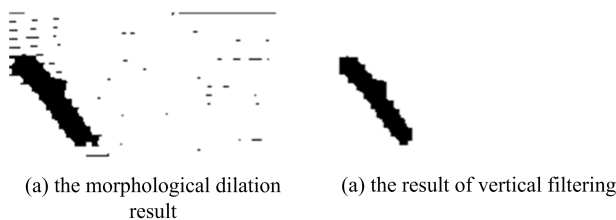


图 8 纵向滤波结果

Fig. 8 The result of vertical filtering

2.2.3 投影及杂质变化模型

经过形态学与纵向滤波后的图像中, 杂质已经被孤立出来. 为了准确的得到杂质的面积, 避免边界等因素的干扰. 本文提出了水平垂直投影与杂质投影曲线变化模型相结合的方法确定杂质.

如图 9 示, 方波存在一个上升、平稳及下降的过程, 而杂质是具有一定面积的区域, 因此在水平及垂直方向上, 杂质的投影曲线变化与方波类似.



图 9 方波图形

Fig. 9 Square wave

如图 10 所示, 图 10(a) 为杂质区域, 图 10(b) 为 10(a) 的水平投影曲线, 图 10(c) 为垂直投影曲线.

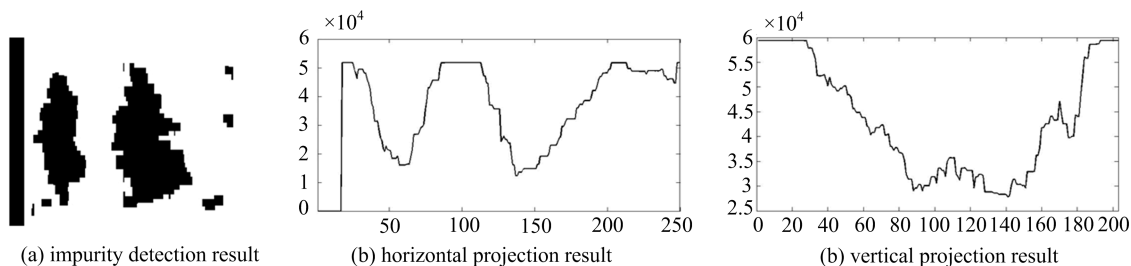


图 10 水平垂直方向的投影曲线

Fig. 10 The projection result of horizontal and vertical

对比图 9 与图 10,可以发现杂质的水平及垂直投影结果符合方波的变化模型.

如图 11 所示,胎肩的花纹也符合这种变化模型,其中方框标识的区域是轮胎的花纹区域.



图 11 胎肩花纹

Fig. 11 The tread pattern of tire shoulder

为了排除花纹的干扰(下文公式(7)),本文提出了纵向灰度跳变次数的规则,进一步筛选杂质.

纵向灰度跳变次数是指单列图像中相邻像素灰度不相同的次数,如图 11 所示,花纹区域的灰度跳变次数明显大于杂质区域的灰度跳变次数,且花纹的分布是有一定分布规律的,而杂质的位置是随机无规律的.

$$F = \begin{cases} 1, & p < T \\ 0, & p \geq T \end{cases} \quad (7)$$

式中, p 为单列图像灰度跳变次数, T 为跳变阈值, F 为保存标记. F 值为 1,则是杂质区域,值为 0 则为花纹区域.

实验结果证明,增加了跳变规则后,由于花纹引起的胎肩杂质缺陷检测漏报率大大降低.

3 实验结果及分析

在 Intel i5-4200U 1.6 GHz 处理器,4 GB 内存的环境下实现上述算法.实验数据集由山东某轮胎公司提供,轮胎图像为 256 灰度级、分辨率为 3400×8500 大小的 bmp 格式图像,测试图像共 1 000 张,胎侧杂质图像共计 450 张,胎肩存在杂质的图像共计 200 张,存在帘线交叉的图像有 100 张.

轮胎杂质缺陷检测要求算法能够做到以下 3 点:①正常图像不能被误检为缺陷图像;②存在杂质的胎侧、胎肩图像能够被检测而且被准确标定;③缺陷类型应该准确.我们用相应的 3 个指标描述算法的检测结果:正常图像误检率(error detection ratio,EDR),杂质图像检测率(impurity detection ratio,IDR)和缺陷类型准确率(defect type ratio,DTR),上述三个指标的计算公式如公式(8)、(9)与(10)所示.

$$EDR = \frac{N_e}{N} \quad (8)$$

$$IDR = \frac{N_I}{N_D} \quad (9)$$

$$DTR = \frac{N_T}{N_I} \quad (10)$$

式中, N_e 为正常图像误检为缺陷图像的数量, N 为测试图像数量, N_D 为测试图像中存在杂质缺陷的图像数量, N_I 为 N_D 中被检测到的图像数量, N_T 为缺陷类型判断正确的图像数量.本文算法检测结果如表 1 所示.

表 1 本文算法杂质缺陷检测结果

Tab. 1 The results of impurity defect detection of our method

	EDR	IDR	DTR
Sidewall	0.0	0.999	0.98
Shoulder	0.0	0.95	0.96

经过测试,本文提出的胎侧图像的杂质缺陷检测平均用时约为 300 ms.胎侧杂质检测结果如图 12 所示,其中 12(a)为较暗的胎侧杂质,12(b)为较亮的胎侧杂质.

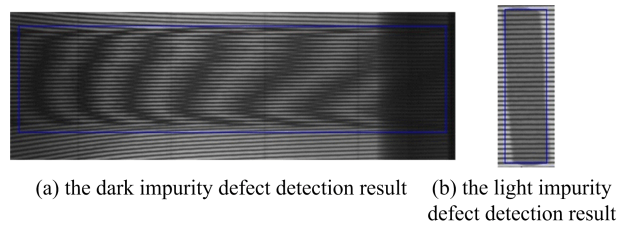


图 12 胎侧杂质缺陷检测结果

Fig. 12 The result of impurity defect detection in tire sidewall

胎肩杂质检测结果如图 13 所示,其中图 13(a)中

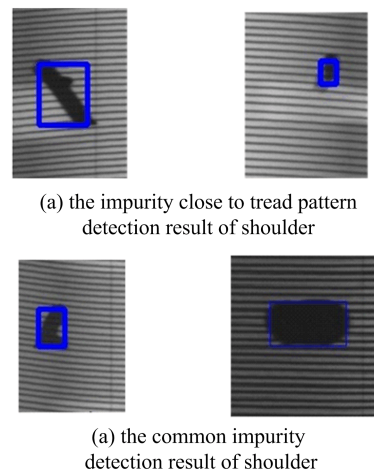


图 13 胎肩杂质缺陷检测结果

Fig. 13 The result of impurity defect detection in tire shoulder

的杂质与胎肩花纹距离较近,(b)为常见的胎肩杂质。

实验结果表明,本文提出的方法能够比较准确地检测到胎侧、胎肩杂质缺陷,而且能够满足系统对于实时性的要求。由于网上尚未有公开的轮胎图像数据集,因此无法提供准确率或效率等方面的比较结果,但其他方法可以使用本文的数据集进行测试比较。虽然胎肩图像的杂质检测存在一定的误报,但是误报一般是由于钢丝圈发生散线进入胎肩或钢丝圈弯曲等因素造成的。检测结果只是缺陷类型的误判,并不会导致正常图像误检。

4 结论

针对轮胎杂质缺陷检测,首先对胎肩图像进行伽马矫正,消除灰度不均匀对后续检测带来的干扰;再用局部大津法对图像进行二值化,以形态学膨胀将杂质与帘线分离,膨胀后的图像中存在很多毛刺,纵向滤波将毛刺平划掉;然后对图像进行水平垂直投影,根据投影曲线是否符合方波变化模型筛选杂质;最后根据纵向灰度跳变次数确定胎肩的花纹区域。实验表明,本文方法易于实现且具有较低的时间复杂度,能够满足系统对于实时性的要求。

虽然本文算法在胎侧及胎肩图像上取得了较好的杂质缺陷检测结果,但是胎冠及钢丝圈是由多层叠加得到的,且胎肩存在花纹,因此目前的方法对于胎冠和钢丝圈的杂质缺陷、检测效果并不理想,下一步的工作主要是钢丝圈与胎冠的杂质缺陷检测。

参考文献(References)

- [1] 陈冬雪,刘桂雄,彭艳华,等. 轮胎激光散斑干涉相位图多方向频域滤波方法[J]. 中国测试, 2015, 41(11): 88-92.
CHEN Dongxue, LIU Guixiong, PENG Yanhua, et al. Multidirectional frequency domain filtering for phase pattern of tire detects by laser speckle interferometer[J]. Journal of China Measurement & Test, 2015, 41(11): 88-92.
- [2] 钟浩,刘桂雄,陈冬雪,等. 轮胎激光散斑干涉相位条纹图局域多方向频域滤波方法[J]. 中国测试, 2016, 42(6): 100-103.
ZHONG Hao, LIU Guixiong, CHEN Dongxue, et al. Local multidirectional frequency domain filtering for tire phase fringe patterns of laser speckle pattern interferometry[J]. Journal of China Measurement & Test, 2016, 42(6): 100-103.
- [3] 徐驰,王喜顺,陈育彬. 剪切电子散斑干涉检测轮胎中的图像处理[J]. 微计算机信息, 2007, 23(36): 285-286.
XU Chi, WANG Xishun, CHEN Yubin. Image processing method in the ESSPI tire inspection[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(36): 285-286.
- [4] KANEKO A, TAKI K, FUNAHASHI T, et al. Tire visual inspection by active image sensing and smart feature extraction[C]// 10th France-Japan 8th Europe-Asia Congress on Mecatronics. Tokyo, Japan: IEEE, 2015: 343-348.
- [5] FUNAHASHI T, TAKI K, KOSHIMIZU H, et al. Fast and robust visual inspection system for tire surface thin defect[C]// 21st Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision. Mokpo, South Korea: IEEE, 2015: 1-6.
- [6] XIANG Y Y, ZHANG C M, GUO Q. A dictionary-based method for tire defect detection[C]// IEEE International Conference on Information and Automation. Hailar, China: IEEE, 2014: 519-523.
- [7] GUO Q, ZHANG C M, LIU H, et al. Defect detection in tire X-Ray images using weighted texture dissimilarity[J]. Journal of Sensors, 2016, (1): 4140175(1-12).
- [8] CUI X H, LIU Y, WANG C X. Defect automatic detection for tire X-ray images using inverse transformation of principal component residual[C]// International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition. Lodz, Poland: IEEE, 2016:1-8.
- [9] 原培新, 张晓慧. 数字图像处理在汽车轮胎 X 射线检测中的应用[J]. CT 理论与应用研究, 2007, 16(2): 48-51.
YUAN Peixin, ZHANG Xiaohui. X-ray Detection of tyre with digital image processing [J]. CT Theory and Applications, 2007, 16(2): 48-51.
- [10] 张茂强. 子午轮胎缺陷检测方法与设计研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [11] ZHANG Maoqiang, GUO Qiang, YANG Xingqiang. Tire defect detection on impurities [J]. Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing, 2014, 24(1): 32-35.
- [12] 应崎伟. 汽车轮胎瑕疵的计算机视觉识别系统[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2012.
- [13] ZHANG Y, LEFEBVRE D, LI Q L. Automatic detection of defects in tire radiographic images [J]. IEEE Transactions on Automation Science & Engineering, 2017, 14(3): 1378-1386.
- [14] 朱越. 工程子午线轮胎 X 射线图像检测技术中的若干问题研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [15] 宋开勇,王传旭,董向鹏. 轮胎纹理提取与缺陷检测方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(18): 291-293.
SONG Kaiyong, WANG Chuanxu, DONG Xiangpeng, Tire texture extraction and defect detection method[J]. Computer Engineering, 2012, 38(18): 291-293.
- [16] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.