

基于GLCM算法的轮胎0°带束层接头缺陷检测

张元刚, 刘中华*

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:以轮胎0°带束层接头缺陷区域的灰度分布特性为依据,利用传统的灰度共生矩阵(GLCM)算法实现0°带束层接头缺陷的纹理特征提取及识别。GLCM算法选取4个特征参量的8个特征值表征GLCM的纹理特征,再利用欧氏距离判别法判别缺陷。通过MATLAB仿真,得到特征参量的纹理值。结果表明,由GLCM产生的4个特征参量的纹理特征值可对接头缺陷有效描述,鉴别能力较强。

关键词:轮胎;0°带束层;接头缺陷;特征提取;纹理特征

中图分类号:TQ336.1⁺1;TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2018)00-0000-05

轮胎是车辆行驶中直接承受载荷的重要部件,根据力学原理,轮胎内部若存在缺陷,在行驶过程中由于受力不均匀,会产生脱层、破裂,甚至引发严重的交通事故^[1]。因此,轮胎缺陷的检测识别是非常重要的研究课题^[2-4]。

通过X光机获取轮胎X光图像^[5],再设计算法实现缺陷的定位、判别是目前普遍采用的方法。该方法避免了人工检测^[6]成本高、效率低、工作强度大、消耗时间长、检测结果不客观等诸多缺点。但轮胎品种和规格众多,花纹及钢丝帘线各异^[7-8],形成的缺陷种类繁多^[9-11],许多缺陷检测至今无人涉及,如0°带束层接头,其X光图像如图1所示。

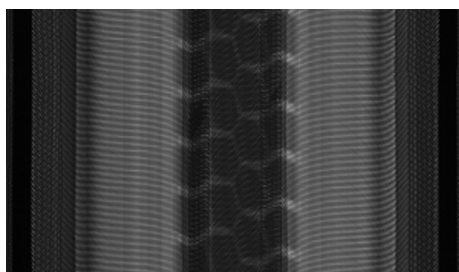


图1 轮胎0°带束层接头X光图像

轮胎X光图像是纹理图像。目前,常用的纹理分析方法大致可以分为四类:结构分析、统计、基于纹理模型的分析 and 信号处理。其中,结构分析方法是建立在纹理是由纹理基元^[12]按照某种规则

排列的假设基础上发展起来的,该方法仅适用于规则纹理的分析;统计方法的纹理分析是从区域统计的角度分析灰度随机变量的空间分布,如基于空域的自相关函数分析^[13-14]、灰度共生矩阵分析、灰度差分分析^[15]等及基于频域的频谱分析^[16]等;基于纹理模型的分析方法通过Markov随机场、二维自回归模型等描述纹理;信号处理方法又可分为空域滤波器方法、频域滤波器方法、Gabor滤波器方法、小波分析方法^[17]。

然而,多数纹理分析方法理论性较强、运算复杂且通用性不够,很难成功应用与工程领域。而灰度共生矩阵(GLCM)算法相对简单,易于实现,因此本研究利用GLCM算法实现轮胎0°带束层接头缺陷区域的特征提取及识别,算法选取4个特征参量的8个特征值作为GLCM的纹理特征,再利用欧氏距离法实现缺陷的判别。

1 GLCM算法的基本原理

GLCM算法是求取纹理图像中某一个灰度级结构多次重复出现概率的方法,通过对条件概率的求取得到纹理图像的灰度级在空间上的相互关系。首先需要依据纹理图像各像元之间的距离及方向角度来构造GLCM,然后选择合适的特征参量,进而得到统计特征向量作为GLCM的统计特征,用以描述纹理。

GLCM算法描述如下:假如x轴方向像素总量是 N_x ,y轴方向像素总量是 N_y ,为规避计算量过大,

作者简介:张元刚(1979—),男,山东青岛人,青岛科技大学讲师,硕士,主要从事橡胶技术的研究。

*通信联系人(zhuimengyi@126.com)

需要先将灰度级进行压缩, $p(i, j, \theta, d)$ 表征GLCM (i 行 j 列元素, θ 为方向角度, 两像元之间的距离为 d), GLCM计算值表示在已知空间距离 d 和方向角度 θ 的条件下, 灰度级 i 为始点, 出现灰度级 j 的概率。 θ 沿顺时针方向取值, θ 不同, 其所对应的GLCM也就不同, 定义式如下:

$$p(i, j, \theta, d) = \{ (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \} \quad (1)$$

式中, $f(k, l) = i, f(m, n) = j$; 当 $\theta = 0^\circ$ 时, $k - m = 0, l - n = d$; 当 $\theta = 45^\circ$ 时, $k - m = d, l - n = d$, 或 $k - m = -d, l - n = -d$; 当 $\theta = 90^\circ$ 时, $k - m = d, l - n = 0$; 当 $\theta = 135^\circ$ 时, $k - m = d, l - n = -d$, 或 $k - m = -d, l - n = d$ 。

2 GLCM的特征参量

从GLCM得到反映矩阵联合概率密度的特征参量, 并以此更直观地描述图像的纹理特征, 通过MATLAB仿真可得到特征参量的纹理值。常用的特征参量主要有以下几种。

(1) 能量 (M_{AS}) 的计算公式为

$$M_{AS} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} p^2(i, j, d, \theta) \quad (2)$$

能量又称为角二阶矩, 能有效反映图像灰度分布是否均匀, 表征图像纹理粗细和灰度分布。能量最大值是1, 表示图像灰度分布的均匀性最好。图像表面越粗糙, 计算的能量值就越小。

(2) 对比度 (N_{CO}) 的计算公式为

$$N_{CO} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (i - j)^2 p(i, j, d, \theta) \quad (3)$$

对比度用来表征图像纹理清晰程度。对比度越大, 纹理元素对比越明显, 纹理越突出, 图像的视觉模糊效果越差; 反之, 对比度越小, 纹理的视觉模糊效果越好。若对比度的值为0, 则表明该图像不存在纹理分布。相比粗纹理, 细纹理的对比度较大。

(3) 相关性 (R_{CO}) 的计算公式为

$$R_{CO} = [\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} ijp(i, j, d, \theta) - \mu_x \mu_y] / \sigma_x \sigma_y \quad (4)$$

式中

$$\begin{aligned} \mu_x &= \mu_y = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} p(i, j) \\ \sigma_x^2 &= (i - \mu_x)^2 \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} p(i, j) \end{aligned}$$

$$\sigma_y^2 = (j - \mu_y)^2 \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} p(i, j)$$

相关性是对GLCM邻域灰度值的线性依赖性的度量。纹理图像不同, 所求取的相关性的值亦不同, 但差异并不大, 若在相同图像的不同方向之间作比较, 则与图像纹理一致方向上的相关性的值往往明显高于其他方向上的相关性的值。由此可见, 相关性在描述图像纹理的方向性方面优势显著。

(4) 熵 (T_{EN}) 的计算公式为

$$T_{EN} = - \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} p(i, j, d, \theta) \ln p(i, j, d, \theta) \quad (5)$$

熵表征纹理图像所含信息量大小, 纹理信息是图像的重要信息。若求取的灰度共生矩阵接近零矩阵, 熵值约为零, 则图像中未含纹理信息。若图像的纹理较细, 则 $p(i, j, \theta, d)$ 的数值几乎相同, 纹理图像熵达到最大。图像中所含纹理越少, $p(i, j, \theta, d)$ 的值相差越大, 纹理图像熵值越小。

3 GLCM算法应用

由于 0° 带束层遍布钢丝帘线, 所以其在轮胎X光图像上灰度值较低, 而 0° 带束层接头缺陷所在区域灰度值更低, 人眼难以分辨, 因此急需切实有效的计算机识别算法识别。GLCM算法的应用流程详述如下。

(1) 读入待检测图像, 剪切 0° 带束层并将其进行分块处理。

(2) 搜索接头缺陷所在纹理块。

(3) 为减少计算量, 对接头缺陷所在纹理块的灰度级进行压缩并将灰度均匀量化成16级, 以减小生成矩阵的尺寸, 提高效率。

(4) 设定合适的两像元之间的距离、方向角度及窗口大小, 取 $d=1$, 分别形成 θ 为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向上的GLCM。

(5) 对求取的GLCM进行归一化处理。

(6) 求取4个方向纹理特征值的平均值, 消除方向分量的影响。

(7) 计算出GLCM特征参量的相关系数, 以选取合适的特征参量。

(8) 通过求取GLCM特征参量的相关性, 选择合适的特征参量。本算法中选择能量 (M_{AS})、熵 (T_{EN})、对比度 (N_{CO}) 和相关性 (R_{CO})。

(9) 分别求得能量、熵、对比度和相关性的均值 μ 和标准差 σ ,得到8个统计特征值的特征向量作为GLCM的纹理特征。

(10) 特征向量内部归一化。由于(8)中特征参量具有不同的物理含义,因此需进行归一化,使用的归一化模型同(5)的归一化模型。

(11) 利用欧氏距离判别法进行缺陷判别,该方法首先需获得正常轮胎0°带束层接头纹理图像分块后的统计特性,并计算与待测轮胎0°带束层接头纹理图像统计特性的相似度,进而进行比较。

(12) 选取合适的欧氏距离为缺陷的判别阈值,若相似度比选定的阈值大,则判别为正常;若相似度小于阈值,则判别为缺陷。

4 结果与讨论

在利用GLCM描述纹理特征时,能量、熵、对比度和相关性互不相关,这4个特征参量不仅使分类精度高而且便于计算,因此,本研究选取这4个特征参量进行统计,待测轮胎0°带束层接头纹理图像各方向的特征参量值及拟合结果如表1所示。

表1 待测轮胎0°带束层接头纹理图像各方向的特征参量值及拟合结果

项 目	M_{AS}	T_{EN}	N_{CO}	R_{CO}
0°	0.164	2.431	0.891	0.506
45°	0.160	2.458	0.971	0.483
90°	0.232	2.068	0.303	0.679
135°	0.157	2.475	1.024	0.467
拟合	0.178	2.358	0.797	0.534

以10幅含有缺陷的0°带束层接头纹理图像为例,计算拟合的特征参量值如表2所示。经过归一化的各特征参量值如表3所示。

本研究使用欧氏距离判别法对轮胎0°带束层接头缺陷进行判定,根据欧氏距离公式,计算得到的正常0°带束层接头纹理图像与含有缺陷的0°带束层接头纹理图像的欧氏距离值如表4所示。

可以看出,含有缺陷的0°带束层接头纹理图

表2 轮胎0°带束层接头缺陷纹理图像的灰度共生矩阵的特征参量值

图像序号	M_{AS}	T_{EN}	N_{CO}	R_{CO}
1	0.178	2.303	0.653	0.650
2	0.193	2.117	0.524	0.821
3	0.160	2.375	0.688	0.620
4	0.211	2.127	0.529	0.814
5	0.196	2.203	0.597	0.736
6	0.223	2.122	0.553	0.746
7	0.191	2.174	0.571	0.762
8	0.214	2.123	0.553	0.789
9	0.201	2.107	0.516	0.831
10	0.179	2.162	0.567	0.693

表3 轮胎0°带束层接头缺陷纹理图像特征参量值归一化结果

图像序号	M_{AS}	T_{EN}	N_{CO}	R_{CO}
1	-0.224	0.655	-0.121	-0.122
2	-0.361	0.638	-0.189	-0.035
3	-0.342	0.657	-0.104	-0.135
4	-0.356	0.643	-0.190	-0.042
5	-0.351	0.648	-0.152	-0.082
6	-0.349	0.650	-0.175	-0.074
7	-0.355	0.644	-0.164	-0.067
8	-0.356	0.644	-0.178	-0.054
9	-0.361	0.638	-0.195	-0.030
10	-0.352	0.647	-0.157	-0.093

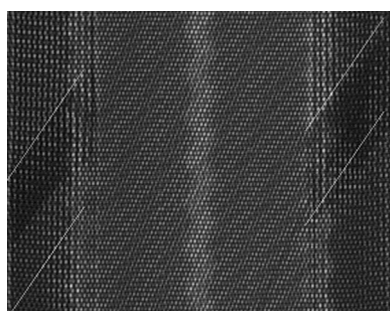
像特征参量值与未含有缺陷的0°带束层接头纹理图像特征参量值欧氏距离相差比较明显。

通过对软控股份有限公司提供的轮胎图像数据进行计算,将判别阈值设置为适当值。若待测0°带束层接头纹理图像与正常0°带束层接头纹理图像的欧氏距离小于设定阈值,则判定为接头无缺陷;反之,若比设定阈值大,则判别为接头缺陷,且欧式距离越大,接头缺陷区域越大。根据实际工艺要求设置合适的判定标准即可完成对接头过大或过小的判别。

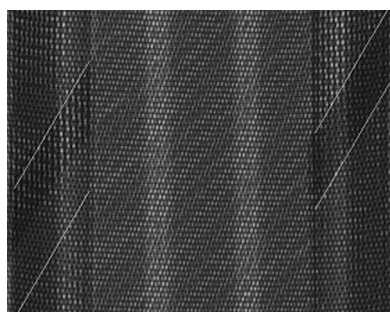
利用GLCM算法所做的轮胎0°带束层接头缺陷标记结果如图2所示。试验结果显示,由GLCM产生的4个纹理特征参量可对轮胎0°带束层接头接头缺陷有效描述,鉴别能力较强。

表4 轮胎0°带束层接头缺陷纹理图像与正常纹理图像归一化前后的欧氏距离

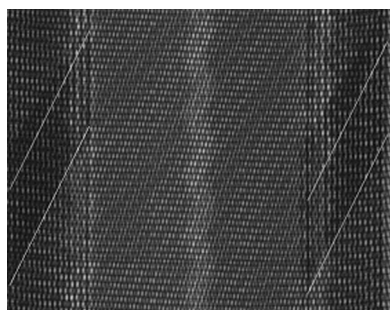
项 目	图像序号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
归一化前	2.624	2.531	2.696	2.477	2.539	2.452	2.518	2.470	2.466	2.489
归一化后	1.548	1.614	1.619	1.614	1.614	1.607	1.614	1.614	1.613	1.604



(a) 正常接头



(b) 接头过大



(c) 接头过小

图2 GLCM算法的轮胎0°带束层接头缺陷标记结果

5 结语

轮胎品种和规格及缺陷种类繁多,为轮胎的缺陷检测识别工作带来困难。本研究利用GLCM算法,通过大量样本训练,提取4个特征参量的纹理特征值,可实现对轮胎0°带束层接头缺陷的检测识别,鉴别能力较强。

参考文献:

- [1] 都强. 轮胎动平衡试验机算法解算和控制方法的研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2005.
- [2] Calle F J D L, Bulnes F G, Garcia D F, et al. A Parallel Genetic Algorithm for Configuring Defect Detection Methods[J]. IEEE Latin America Transactions, 2015, 13 (5): 1462-1468.
- [3] 杨晋吉,李荣兵. 基于Adaboost与Clifford代数的人脸检测[J]. 计算机工程, 2013, 39 (9): 214-217.
- [4] 郑筱智. 基于空域与频域结合的轮胎缺陷检测[D]. 济南:山东财经大学,2016.
- [5] 张岩. 基于计算机视觉的轮胎缺陷无损检测关键问题研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2014.
- [6] Zhang Y, Li T, Li Q L. Detection of Foreign Bodies and Bubble Defects in Tire X-ray Images Based on Total Variation And Edge Detection[J]. Chinese Physics Letters, 2013, 30 (8): 084205.
- [7] 赵亚元,王伟. 带束层参数对子午线轮胎胎面磨耗性能的影响[J]. 橡胶工业, 2017, 64 (4): 232-235.
- [8] 燕山,王伟. 复杂胎面花纹轮胎有限元分析及试验研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63 (2): 102-106.
- [9] Lyu G, Yin H, Huang H, et al. A Simple Calculation Method of Rail Head Surface Defect Area under the High Speed Condition[J]. Journal of Computational Information Systems, 2014, 10 (24): 10683-10691.
- [10] 王峰,吴桂忠. 我国子午线轮胎技术概况[J]. 轮胎工业, 2006, 26 (8): 457-461.
- [11] 黄奉康,杨利伟. 全钢载重子午线轮胎胎体帘布质量缺陷原因分析及解决措施[J]. 轮胎工业, 2004, 24 (9): 559-561.
- [12] Ngan H Y T, Pang G K H, Yung N H C. Performance Evaluation for Motif-based Patterned Texture Defect Detection[J]. IEEE Transaction on Automation Science and Engineering, 2012, 7 (1): 58-72.
- [13] 杨有,余萍,尚晋. 基于图像纹理自适应的边缘检测算法[J]. 计算机科学, 2008, 35 (5): 243-245.
- [14] 罗晓燕,王成儒. 基于自相关图像的纹理特征检索的研究[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25 (7): 241-243.
- [15] Mir A H, Hanmandlu M, Tandon S N. Texture Analysis of CT Images[J]. Engineering in Medicine and Biology Magazine, 1995, 14 (6): 781-786.
- [16] 李仕,王晶,孙辉. 基于图形处理器的实数FFT在图像处理中的应用[J]. 光学精密工程, 2008, 16 (12): 2414-2420.
- [17] 郭奇,吕晓光. 基于小波变换的图像增强的实现研究[J]. 传感器世界, 2015, 21 (3): 7-10.

收稿日期:2018-06-13

Detection on Tire 0° Belt Connector Defect Based on GLCM Algorithm

ZHANG Yuangang, LIU Zhonghua

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on the gray distribution characteristics of 0° belt connector defective regions of the tire,

the traditional Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) algorithm was used to realize the feature extraction and recognition of defects. For GLCM algorithm the eight eigenvalues of the four characteristic parameters was selected as the texture feature of GLCM, and then Euclidean distance method was used to identify defects. Through MATLAB simulation, the characteristic parameters of texture feature were obtained. The results showed that texture eigenvalues of the four features parameters produced by GLCM could be used to describe the connector defects effectively, which had stronger identification ability.

Key words: tire; 0° Belt; connector defect; feature extraction; texture feature