

冯霞, 郝振平, 冯燕, 等. X 射线在轮胎边缘检测中的应用[J]. CT 理论与应用研究, 2010, 19(3): 61-66.  
Feng X, Hao ZP, Feng Y, et al. Edge detection in the tire X-ray detection[J]. CT Theory and Applications, 2010, 19(3): 61-66.

# X 射线在轮胎边缘检测中的应用

冯霞<sup>1</sup>, 郝振平<sup>2✉</sup>, 冯燕<sup>3</sup>, 石超<sup>3</sup>

1. 山东德州科技职业学院, 山东 禹城 251200
2. 禹城市广播电视局, 山东 禹城 251200
3. 禹城市水务局, 山东 禹城 251200

**摘要:** 利用 X 射线对子午线轮胎进行质量检测是一个重要的课题, 通过图像处理和匹配进行轮胎质量检测是一个复杂的系统, 其中边缘检测是图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析的重要基础。通过 Matlab 实验比较几种不同的边缘检测方法, 找到了适合子午线轮胎质量检测的边缘检测方法。

**关键词:** 数字图像处理; 边缘检测; 子午线轮胎; Matlab; Hough 变换

**文章编号:** 1004-4140 (2010) 03-0061-06      **中图分类号:** TP 391      **文献标识码:** A

子午线轮胎在制造过程中工艺要求比较高, 经常出现质量问题缩短轮胎寿命, 因此需要出厂前对轮胎进行质量检测<sup>[1]</sup>。利用 X 射线可以得到子午线轮胎的投影图像, 通过计算机使用数字图像处理技术对得到的图像进行轮胎质量检测; 从而发现轮胎内部脱层、气泡等各种物理的性状, 并且准确发现轮胎的缺陷部分和夹杂在其中的杂质, 确保轮胎的安全性。其中边缘检测是图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析的重要基础<sup>[2-3]</sup>。所谓边缘就是指与周围灰度强度有反差变化的那些像素的集合, 边缘是图像最基本的特征, 因此选择合适的边缘检测方法对于轮胎质量检测有着重要的意义。

原培新等<sup>[4]</sup>通过比较 Sobel 算子及高斯-拉普拉斯算子, 即提出高斯-拉普拉斯算子是比较适合轮胎子午线检测的边缘检测算子。杭柏林等<sup>[5]</sup>通过将坎尼 (Canny) 算子与 Roberts、Prewitt 算子进行比较, 提出 Canny 算子比较适合于轮胎 X 射线质量检测。二者未对高斯-拉普拉斯算子与 Canny 算子进行比较, 本文结合实验简要地介绍了几种经典算子的原理, 对 Matlab 轮胎图像进行边缘检测, 分析这几种经典算子对于轮胎图像的敏感程度。主要对 Prewitt 算子、高斯-拉普拉斯算子 (Laplace of Gauss, LoG) 算子及 Canny 边缘检测算子进行比较, 选择适合轮胎子午线图像边缘提取的边缘检测算子。

## 1 原理

图像边缘是图像局部特性不连续性, 如灰度突变、颜色突变等的反映, 它标志着一个区域的终结和另一个区域的开始。图像边缘保留了原始图像中相当重要的部分信息, 而又

使得总的的数据量减小了很多, 这正符合特征提取的要求, 图像边缘也是图像匹配的重要的特征<sup>[6]</sup>。边缘连接首先检测图像局部特性的不连续性, 然后再将这些不连续的边缘像素连成完整的边界, 提取边缘的算法就是检测符合边缘特性的边缘像素的数学算子。

一条边缘是一组相连的像素集合, 这些像素位于两个区域的边界上, 即每个像素位于灰度级跃变的形式体系中。边缘检测算子检查每个像素的邻域并对灰度变化率进行量化。边缘检测算法一般有 4 步: 滤波, 增强, 检测, 定位。比较经典的有以下边缘检测算子: Roberts 算子, Sobel 算子, Prewitt 算子, LoG 算子, Canny 算子<sup>[7-8]</sup>。

### 1.1 Prewitt 算子

Roberts 算子利用局部差分算子寻找边缘, 边缘定位精度较高, 但容易丢失一部分边缘, 同时由于没经过图像平滑计算, 不能抑制噪声。Sobel 算子是边缘检测器中最常用的算子之一, 采用  $3 \times 3$  邻域可以避免在像素之间内插点上计算梯度, Sobel 算子也是一种梯度幅值。Prewitt 算子和 Sobel 算子的方程完全一样, 只是系数不同, Prewitt 边缘检测算子也产生一幅边缘强度图像。以下两个卷积核形成了 Prewitt 边缘检测算子, 图像中的每个点都用这两个核进行卷积, 取最大值作为输出。Prewitt 边缘检测算子为:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

通过研究实验使用合适的参数边缘检测效果较好, 但是由于 Roberts 算子, Sobel 算子和 Prewitt 算子基于一阶方向导数在边缘处取最大值, 因此 Roberts 算子、Sobel 算子和 Prewitt 算子的结果图边缘连续性较差, 不适于复杂的图像边缘检测。

### 1.2 LoG 算子

边缘检测技术中较为成熟的方法是线性滤波器, 比较常用的为 LoG 算子, 它通过寻找图像灰度值中二阶微分中的过零点 (Zero Crossing) 来检测边缘点。LoG 算子为灰度级形成的边缘经过微分算子形成一个单峰函数, 峰值位置对应边缘点; 对单峰函数进行微分, 则峰值处的微分值为 0, 峰值两侧符号相反; 而原先的极值点对应于二阶微分中的过零点, 通过检测过零点即可将图像的边缘提取出来。

LoG 算子很好地解决了频域最优化和空域最优化之间的矛盾, 计算方法也比较简便。由于噪声对边缘检测有一定的影响, LoG 算子是一个二阶边缘检测方法, 由两个滤波器组成, 低通滤波去除噪声, 高通滤波提取边缘。LoG 算子既具备高斯算子的平滑特点又具备拉普拉斯算子锐化特点, 把 Gauss 平滑滤波器和 Laplacian 锐化滤波器结合了起来, 先平滑掉噪声, 再进行边缘检测, 所以效果较好<sup>[9]</sup>。

LoG 算子对图像  $f(x,y)$  进行边缘检测, 输出  $h(x,y)$  是通过卷积运算得到的, 即:

$$h(x,y) = \left( \left( \frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) \exp \left( -\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right) \right) * f(x,y) \quad (2)$$

经过实验研究发现,  $\sigma$  越小平滑程度越轻, 会出现零星的假边缘;  $\sigma$  值大平滑程度重, 但是部分真实的边缘丢失, 出现边缘间断现象。其特点为图像首先与高斯滤波器进行卷积, 这一步既平滑了图像又降低了噪声, 孤立的噪声点和较小的结构组织将被滤除。高斯平滑运算导致图像中边缘和其他尖锐不连续部分的模糊, 其中模糊量取决于  $\sigma$  值,  $\sigma$  值越大, 噪声滤波效果越好, 但同时也丢失了重要的边缘信息, 如果取小  $\sigma$  值, 又有可能平滑不完全而留有太多噪声。对于轮胎纹理图片, 适合较小的  $\sigma$  值。

### 1.3 Canny 算子

Canny 边缘检测算子类似与 LoG 边缘检测方法, 也属于先平滑后求导数的方法, 是多级边缘检测算法。首先, 用高斯滤波器平滑图像, 高斯平滑后的图像与原始图像相比有点轻微的模糊, 但是像素噪声在经过平滑的图像上被平滑掉了。第二步, 用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向, 生成图像中每个点亮度梯度图以及亮度梯度的方向。第三步, 对梯度幅值进行非极大值抑制, 仅仅得到全局的梯度并不足以确定边缘, 因此为确定边缘, 必须保留局部梯度最大的点, 利用梯度的方向应用非极大值抑制。最后, 用双阈值算法检测和连接边缘, 减少假边缘段数量的典型方法是使用阈值, 将低于阈值的所有值赋零值, Canny 算子对非极大值抑制图像作用两个阈值, 用双阈值算法检测和连接边缘<sup>[10]</sup>。

对较小尺度滤波器, Canny 算子可以在边缘处检测出极其细腻的细节, 但噪声和细纹理会导致过量的不希望边缘段。对大尺度滤波器, 只产生很少数量的不希望边缘段, 但丢失了边缘的大部分细节。因此 Canny 算子进行图像边缘检测必须能有效地抑制噪声而且必须尽量精确确定边缘的位置<sup>[11]</sup>。坎尼算子在使用时要选择合适的参数, 设置的过高, 可能会漏掉重要信息; 过低, 将会把枝节信息看得很重要。对于不同的图像或不同的边缘提取目的, 提供不同的参数, 而且要进行多次实验选定合适的参数, 以达到最佳效果。

## 2 轮胎图像边缘连接和检测

### 2.1 轮胎图像边缘连接

利用典型的边缘检测方法得到的轮胎图像边缘常会出现断裂现象, 因此边缘检测算法后总要跟随边缘连接, 用来归整边缘像素, 使其成为有意义的边界。边缘连接比较常用的是 Hough 变换, 由于 Hough 变换在检验已知形状的目标方面具有受曲线间断影响小和不受图形旋转影响的优点<sup>[12]</sup>, 比较适合轮胎图像边缘连接。

Hough 变换利用图像的全局特征将边界点集连接成有意义的边缘, 从而形成完整的边界, 即边缘连接。对于图像边界上的  $n$  个点的点集, Hough 变换利用了点与直线的对偶性, 找出共线的点集进行连接。构造一个参数  $a, b$  的平面, 对于任意过点的直线方程为:

$$y = ax + b \quad (3)$$

其中  $a$  表示直线的斜率,  $b$  表示截距, 用极坐标表示方程 (3) 为:

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (4)$$

其中,  $\rho$  为原点到该直线的垂直距离,  $\theta$  为垂线与  $x$  轴的夹角, 这条直线是唯一的。直角坐标系中的一条直线对应极坐标系中的一点, 这种线到点的变换就是 Hough 变换。多条直线在极坐标系中所对应的点  $(\rho, \theta)$  构成的一条正弦曲线, 即过每点的直线系分别对应于极坐标上的一条正弦曲线。 $\rho$ 、 $\theta$  量化过粗, 直线参数往往不精确, 过细则计算量增加, 因此, 对  $\rho$ 、 $\theta$  量化要兼顾参数量化精度和计算量。

实验中利用 Hough 变换进行边缘连接的方法: 首先计算轮胎图像的梯度, 对它设置门限得到一幅二值图像, 并将其放在  $\rho$ 、 $\theta$  平面内量化; 然后对像素高度集中的地方检测累加器单元的数目, 检测单元中像素间的连续性。通过研究发现 Hough 变换检测轮胎图像的抗噪性能强, 能将断开的边缘连接起来, 提高了轮胎图像边缘检测的准确性。

## 2.2 轮胎图像边缘检测结果分析

X 射线可以轻易地分辨轮胎各部位缺陷, 例如: 轮胎的胎侧、胎圈、胎冠、帘线、束带等各个部位缺陷。通过 X 射线采集的轮胎图像其边缘信息在图像分析中是十分重要的, 是

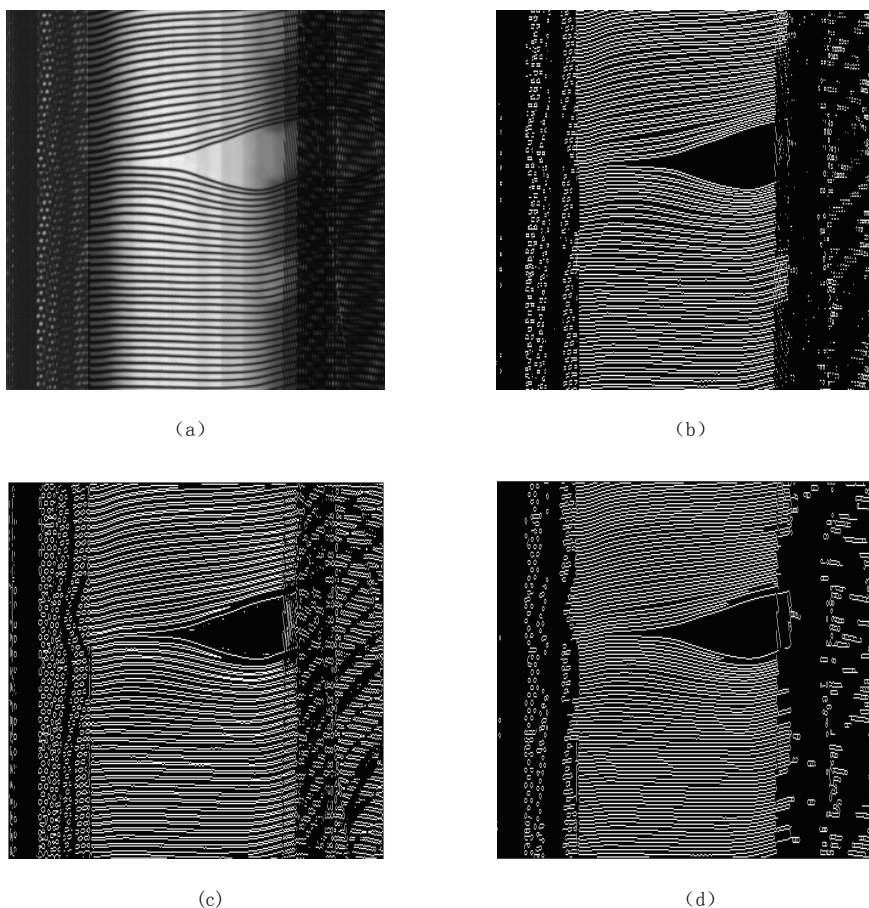


图1 子午线轮胎图像边缘检测

Fig.1 Radial tire image edge detection

图像分割所依赖的重要基础,也是纹理分析和图像识别的重要基础。利用 X 射线机得到轮胎子午线图像,对于得到的图像使用 Matlab 进行数字图像处理。

图 1(a) 为原始图像。图 1(b) 为 Prewitt 算子检测的边缘图像(梯度阈值为 0.06),由图像研究得出 Prewitt 算子利用像素点邻点灰度差检测边缘,可以去掉部分的伪边缘,对噪声具有一定的平滑作用,但是 Prewitt 检测算子的噪声平滑能力和边缘定位能力是相互矛盾的,因此其边缘连续性较差。图 1(c) 为  $\sigma=2$  的 LoG 算子检测的边缘图像,由于其在过零点检测中的各向同性特点保证了边缘的闭合性,因此 LoG 算子定位精确、边缘连续性比较理想,其边缘检测效果较好。图 1(d) 为参数 0.2 时 Canny 算子边缘的检测图像, Canny 算子边缘检测效果好、失真小,也是一种很好的轮胎子午线图像边缘检测算子,但 Canny 算子进行图像边缘检测必须能有效地抑制噪声而且必须尽量精确确定边缘的位置。

### 3 结束语

准确的边缘检测是轮胎质量检测的重要环节, Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子基于一阶方向导数进行边缘检测,得到的往往是断续的、不完整的结构信息,对噪声较为敏感,因此不适于轮胎质量检测。Canny 边缘算子提取的边缘比较完整,但必须与理想滤波器结合使用,实现起来比较复杂。如果找到合适的滤波器或者改进算法 Canny 算子也是非常有效的轮胎质量检测方法。LoG 算子利用二阶微分方法来检测边缘,细节方面效果较好,且比较容易实现,因此 LoG 边缘检测是比较有效的轮胎子午线图像边缘检测方法。

### 参考文献

- [1] 金向宁. 子午线轮胎 X 射线检测设备的开发与研制[J]. 橡胶技术与设备, 1998, 24(6): 47-49.  
Jin XN. Radial tire X-ray inspection equipment development and research[J]. Rubber Technology and Equipment, 1998, 24(6): 47-49.
- [2] Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. Digital image processing[M]. 2nd Edition. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 581-585.
- [3] Dellecker R. Boundary-scan bursts into the modern production facility[J]. IEEE Aerospace and Electronics Systems, 2001, 16(6): 21.
- [4] 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 PX, Zhang XH. Digital image processing in the automotive tire X-ray detection[J]. CT Theory and Applications, 2007, 16(2): 48-51.
- [5] 杭柏林, 刘鑫. Canny算子在轮胎X光质量检测中的应用[J]. 橡塑技术与装备, 2009, 35(12): 48-50.  
Hang BL, Liu X. Canny operator in X-ray quality tire detection[J]. Rubber Technology and Equipment, 2009, 35(12): 48-50.
- [6] Park DJ, Nam KM, Park RH. Multiresolution edge detection techniques[J]. Pattern Recognition (S0031-3203), 1995, 28(2): 211-219.
- [7] 杨平先, 孙兴波. 一种改进多尺度形态边缘检测算法[J]. 光电工程, 2005, 32(11): 72-74.  
Yang PX, Sun XB. Improved multi-scale morphological algorithm for edge detection[J]. Opto-Electronic Engineering, 2005, 32(11): 72-74.

- [8] Demigny D. Kamle T. A discrete expression of Canny's criteria for step edge detector performances evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(6): 1199-1211.
- [9] 张娇, 胡福乔, 李文舜. 边缘检测中的 LoG 滤波器的改进方法的研究[J]. 微电子学与计算机, 1998, 15(6): 37-40.
- Zhang J, Hu FQ, Li WS. An investigation on the enhanced method of LoG filter in edge detection[J]. Microelectronics & Computer, 1998, 15(6): 37-40.
- [10] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Trans, Pattern Anal, Machine Intell, 1986, 8(6): 679-698.
- [11] Worthington Philip L. Enhanced Canny edge detection using curvature consistency[J]. Pattern recognition, 2002, 1(8): 596-599.
- [12] Song J, Michael RL. A Hough transform based line recognition method utilizing both parameter space and image space[J]. Pattern Recognition, 2005, 38: 539-552.

## Edge Detection in the Tire X-ray Detection

FENG Xia<sup>1</sup>, HAO Zhen-ping<sup>2✉</sup>, FENG Yan<sup>3</sup>, SHI Chao<sup>3</sup>

1. Technological Vocational College of Dezhou, Yucheng 251200, China

2. Yucheng Municipal Radio and Television Bureau, Yucheng 251200, China

3. Yucheng Water Authorities, Yucheng 251200, China

**Abstract:** By using of X-rays having radial tire quality test is an important subject, through image processing and matching have tire quality testing is a complex system, edge detection is an important basis of image analysis for the image segmentation, textural and shape feature extraction. Through Matlab experiments compared different edge detection methods found suitable edge detection method in radial tire quality testing.

**Key words:** digital image processing; edge detection; radial tire; Matlab; Hough transform

**作者简介:** 冯霞 (1974—), 女, 德州科技职业学院助理讲师, 主要从事数字图像处理、模式识别等方面的研究, Tel: 0534-7448689, E-mail: anecdotefei@yahoo.cn; 郝振平<sup>✉</sup> (1974—), 禹城市广播电视局高级工程师, 主要从事广播电视信号传输、数字图像处理等方面的研究, Tel: 0534-7421494, E-mail: thejungle@126.com.