

# 基于显著性和最大熵的输送带撕裂检测<sup>①</sup>

亢 伧, 苗长云, 杨彦利

(天津工业大学 电子与信息工程学院, 天津 300387)

**摘 要:** 针对带式输送机在运行过程中输送带易撕裂的背景, 根据人眼视觉系统特点和信息论相关理论, 提出了一种基于视觉显著性和一维最大熵的输送带撕裂故障检测算法. 首先在频域提取图像的显著性区域, 然后计算显著图的最大信息熵, 进而分割图像. 实验结果表明, 该方法具有较强的稳定性和适应性.

**关键词:** 输送带; 撕裂; 视觉注意; 显著性; 谱残差; 最大熵

## Detection Rips in Conveyor Belts Based on Saliency and Maximal Entropy

KANG Kang, MIAO Chang-Yun, YANG Yan-Li

(School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** Under the background that conveyor belts are prone to rips in operation, According to the characteristics of human visual system and information theory, an algorithm for detecting rips in conveyor belts based on visual saliency and maximal entropy is proposed. Regions of interest are firstly extracted in frequency domain, and then a threshold is obtained through calculating the maximal entropy of saliency map to segment the grayscale image. Experiments show that the algorithm is stable and adaptable.

**Key words:** conveyor belt; rip; visual attention; saliency; spectral residual; maximal entropy

输送带撕裂是带式输送机运行中一种最严重的破坏形式. 为减少输送带撕裂故障的发生, 国内外已研究和开发了许多防撕裂的保护装置, 主要有接触式和非接触式检测系统两大类<sup>[1]</sup>. 接触式检测系统并不十分可靠<sup>[1]</sup>. 基于视觉技术的非接触检测系统成为近年来研究的热点. 但是, 输送带撕裂图像中裂纹的灰度与正常输送带的灰度差异较小, 对比度低, 灰度直方图呈单峰, 一般的阈值分割方法<sup>[2-3]</sup>很难取得良好的分割效果. 唐艳同等人<sup>[4]</sup>提出了预设灰度门限阈值法; 冯广生等人<sup>[5]</sup>提出了灰度直方图法; 卫霞<sup>[6]</sup>提出了二维熵分割法, 都取得了不错的效果, 但由于井下环境复杂多变, 裂纹种类繁多、形态各异, 如何有效的检测裂纹仍然是一个重要的研究内容.

对输送带撕裂图像进行分析后发现, 裂纹目标在输送带图像中通常只占很小的区域, 可以将具有选择性的视觉注意机制引入撕裂检测中. 视觉注意方法根

据目标与背景的对比来定义显著值, 并根据显著值生成显著图, 显著图中越亮的区域表示该区域显著性越强. Hou 等人<sup>[7]</sup>从分析图像频谱的角度计算图像中的显著性区域, 提出了谱残差方法. 熵反映了一个事件给予人们信息量的大小, 它是信息量的一个度量. 熵的概念被引入数字图像处理, Kapur 等人<sup>[8]</sup>提出了一维最大熵阈值法.

受 Hou 等人<sup>[7]</sup>和 Kapur 等人<sup>[8]</sup>工作的启发, 本文提出了一种基于显著性和一维最大熵的输送带撕裂检测算法. 采用视觉显著性将裂纹目标增强, 再利用一维最大熵进行裂纹目标分割, 最后通过实验对算法的有效性进行验证.

## 1 输送带撕裂图像分割

基于显著性和一维最大熵的输送带撕裂检测算法框图如图 1 所示. 该算法包括图像预处理, 提取亮度

<sup>①</sup> 基金项目:国家自然科学基金(51274150);天津市自然科学基金(12JCZDJC27800)

收稿时间:2012-08-15;收到修改稿时间:2012-09-23

与方向特征,生成显著图和一维最大熵阈值分割,其中生成显著图与一维最大熵阈值分割是核心.井下煤灰飞扬,光线较弱,环境相当恶劣,为了消除噪声对于原始图像的影响,有必要进行图像预处理.本文的图像预处理采用的是中值滤波.中值滤波是一种非线性平滑滤波,它将每一像素点的灰度值设置为该点邻域窗口内的所有像素点灰度值的中值,在保护图像细节的同时能够消除孤立的噪声点<sup>[9]</sup>.

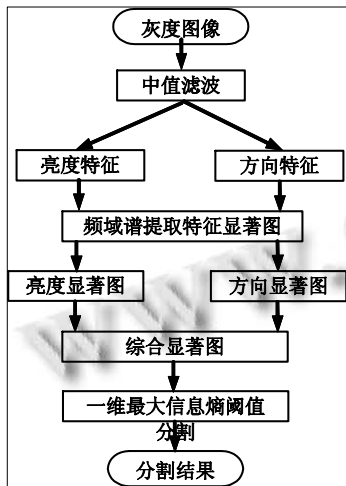


图 1 输送带撕裂检测算法框图

### 1.1 显著图的生成

Itti 等人<sup>[10,11]</sup>提出的显著图方法是视觉注意最具有代表性的方法之一.但其在注意初期采用多种复杂的视觉特征生成显著图,这将耗费大量计算资源. Hou 等人<sup>[7]</sup>从分析图像频谱(亮度、颜色、方向)的角度计算图像中的显著性区域,提出了谱残差方法.由于一般的基于视觉注意方法都是构建多分辨率显著性图谱序列<sup>[12-14]</sup>,这势必会增加运算的时间,并且对于灰度图像,原有的基于彩色图像的谱残差方法不能直接应用,为了能够快速准确检测裂纹目标,需要对 Hou 等人的方法进行改进.

分析和综合不同分辨率下的视觉信息可以获得被观察物体的本质特征,兼顾了图像中大目标和小目标的处理,但是由于输送带运行速度较快,留给每帧图像的处理时间较短,并且输送带灰度图像中目标单一,使用多分辨率构建显著性图谱反而会使输送带上其他一些不必要的噪声点得到加强,给后期分割造成困难.所以只采用多分辨率特征图谱金字塔的第一层,将特征图统一调整为  $256 \times 256$ ,而对于灰度图像,只需要考虑亮度和方向特征.分别计算特征的谱残差,即对

特征进行傅里叶变换后所得幅度的对数值与其进行均值滤波后的差;再根据输送带撕裂图像的特点得到全局显著图.

一幅灰度图像本身就是其亮度特征分量  $I$ . 方向特征分量  $O$  是由 Gabor 滤波器和亮度  $I$  卷积得到的,在方向显著图上,只有沿特定方向的物体信息才得到保留,分析大量输送带裂纹目标后发现,纵向裂纹占了绝大多数<sup>[1,4-6,15,16]</sup>,略微倾斜的裂纹占了少部分,  $45^\circ$  和  $135^\circ$  方向的裂纹目标几乎没有出现,所以将原有的 Itti 等人提出的  $\theta=(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$  改为  $\theta=(0^\circ, 15^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 165^\circ)$ , Gabor 滤波器的表达式如下:

$$G(x, y, \theta) = \exp\left(-\frac{x_1^2 + \gamma^2 y_1^2}{2\delta^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x_1}{\lambda}\right) \quad (1)$$

其中,

$$x_1 = x \cos(\theta) + y \sin(\theta), \quad (2)$$

$$y_1 = y \cos(\theta) - x \sin(\theta), \quad (3)$$

标准差  $\delta=7/3$ , 纵横比  $\gamma=1$ , 波长  $\lambda=7$ . 将亮度图像与 Gabor 滤波器在  $\theta$  的六个方向上分别进行卷积,得到六张不同的方向特征图  $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$ .

分别计算亮度特征  $I$  和方向特征  $O_1 \sim O_6$  的 2 维离散傅里叶变换,将其从空间域转换到频域.对幅值取对数后得到  $\log$  谱  $L_I, L_{O_1} \sim L_{O_6}$ <sup>[7]</sup>:

$$A(f) = |F[\cdot]| \quad (4)$$

$$P(f) = \varphi(F[\cdot]) \quad (5)$$

$$L(f) = \lg(A(f)) \quad (6)$$

式中  $F[\cdot]$  表示  $I, O$  的 2 维离散傅里叶变换,  $|\cdot|$  表示其幅值,  $\varphi$  表示其相位.由于  $\log$  曲线满足局部线性条件,所以用局部平均滤波器  $h_n(f)$  对其进行平滑滤波,获得  $\log$  谱的大致形状:

$$V(f) = L(f) * h_n(f) \quad (7)$$

式(7)中  $h_n(f)$  是一个  $n \times n$  的矩阵,定义为:

$$h_n(f) = \frac{1}{n^2} \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

其中  $n=3$ . 谱残差就是  $\log$  谱和其进行均值滤波后的差,按下式计算:

$$R(f) = L(f) - V(f) \quad (9)$$

谱残差能够描述一幅图像中的异常区域,因此可以用来进行显著目标检测.将  $I$  和  $O$  的谱残差  $R_I, R_{O_1} \sim R_{O_6}$  与各自的相位  $P_I, P_{O_1} \sim P_{O_6}$  进行 2 维离散

傅里叶逆变换:

$$S(x) = |F^{-1}[\exp\{R(f) + iP(f)\}]|^2 \quad (10)$$

由此构建出表示原图像的显著性图谱

$$S_1, S_{O_1} \sim S_{O_6}.$$

方向的显著图  $S_0$  按下式计:

$$S_0(x) = aS_{O_1}(x) + bS_{O_2}(x) + cS_{O_3}(x) + dS_{O_4}(x) + eS_{O_5}(x) + fS_{O_6}(x) \quad (11)$$

其中,  $a=0.4, b=0.05, c=0.05, d=0.05, e=0.05, f=0.4$ .

为了得到最终显著图, 一幅灰度图像的多特征显著性加强表达式如下:

$$Q(x) = c_1 S_1(x) + c_2 S_0(x) \quad (12)$$

其中系数  $c_1, c_2$  分别取 0.6 和 0.4.

### 1.2 一维最大熵阈值分割

为了进一步获得更明显的目标区域, 需要利用显著图确定阈值, 对灰度图像进行二值化. 根据 Shannon 理论<sup>[8]</sup>, 熵是某个元素的平均信息量, 用公式表示如下:

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \times \lg p(x) dx \quad (13)$$

其中,  $p(x)$  是事件  $x$  发生的概率.

从图像分析的角度观察(13)式, 则  $x$  是图像的某一灰度级,  $p(x)$  是图像中像素灰度为  $x$  的概率, 二值化的阈值就是使  $H$  取得最大时的灰度  $x$  的值, 设显著图  $Q$  分为  $N$  个灰度级, 则(13)式可表达为:

$$H = - \sum_{x=1}^N p(x) \lg p(x). \quad (14)$$

设  $T$  为阈值, 灰度小于  $T$  的像素点为目标区域, 灰度大于  $T$  的像素点为背景区域, 以各灰度值的频数  $p_i$  作为该灰度级的概率, 则目标区域和背景区域灰度级的概率分别为:

目标区域:

$$p_o = \sum_{i=0}^{T-1} p_i \quad (15)$$

背景区域:

$$p_b = \sum_{i=T}^{255} p_i \quad (16)$$

则目标区域和背景区域的熵分别定义为:

$$H_o(t) = - \sum_{i=0}^{T-1} (p_i / p_o) \lg(p_i / p_o) \quad (17)$$

$$H_b(t) = - \sum_{i=T}^{255} (p_i / p_b) \lg(p_i / p_b) \quad (18)$$

图像的熵函数定义为:

$$H(t) = H_o(t) + H_b(t) \quad (19)$$

使  $H(t)$  最大的  $t$  值, 就是所选择的全局阈值  $T$ , 即  $T$  可表示为:

$$T = \arg \max H(t) \quad (20)$$

## 2 实验分析

为了验证本文算法的有效性, 从文献[19]中选取五张具有代表性的输送带撕裂图像如图 2 所示, 利用 Matlab R2008a 平台对本文算法进行测试, 并分别与 Otsu 法<sup>[2]</sup>, 局部 Bernsen 法<sup>[3]</sup>, 谱残差法<sup>[7]</sup>, 二维最大熵算法<sup>[20]</sup>, 改进的分水岭算法<sup>[21]</sup>进行对比. 裂纹检测结果如图 3 所示, 这些方法所耗费的时间如表 1 所示.

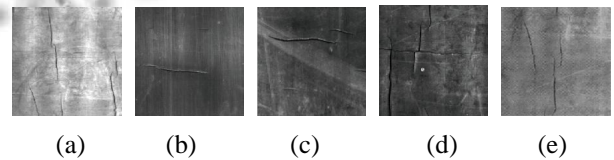
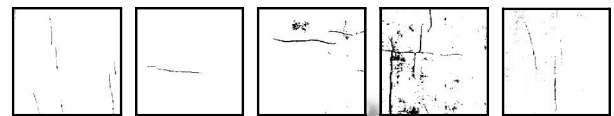


图 2 原始图像<sup>[19]</sup>



(a) Otsu 法<sup>[2]</sup>



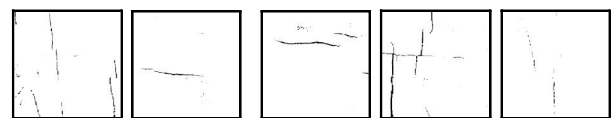
(b) Bernsen 法<sup>[3]</sup>



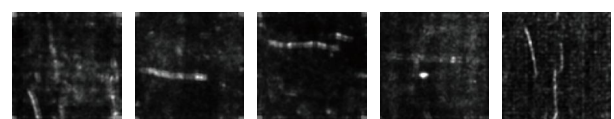
(c) 谱残差法<sup>[7]</sup>



(d) 二维最大熵<sup>[21]</sup>



(e) 分水岭法<sup>[22]</sup>



(f) 本文显著图



(g) 本文算法

图 3 裂纹图像分割结果对比

表 1 六种方法处理时间比较

	Otsu法 <sup>[2]</sup>	Bernsen 法 <sup>[3]</sup>	谱残差法 <sup>[7]</sup>	二维最大熵法 <sup>[21]</sup>	分水岭法 <sup>[22]</sup>	本文方法
a	0.9313	45.7242	1.5581	1.9311	2.3189	1.6340
b	1.1264	36.4743	1.6528	1.9645	2.0156	1.4317
c	1.1196	37.8460	1.5488	1.7425	2.4879	1.6255
d	1.0232	37.6229	1.5896	1.8359	2.3614	1.5230
e	1.1257	42.5914	1.6423	2.0471	2.2015	1.2481

由图 3 及表 1 可以看出, Otsu 法<sup>[2]</sup>无法将目标与背景分开, 也就不能提取出所需要的裂纹目标; Bernsen 法<sup>[3]</sup>检测出来的裂纹图像基本能够达到检测要求, 但是所消耗的时间较长, 难以应用于输送带实时检测上; 谱残差法<sup>[7]</sup>的检测结果中, a 图中裂纹断点较多, 不够清晰, b、c、d、e 图中裂纹和背景未完全分离; 二维最大熵算法<sup>[20]</sup>虽然耗时较短, 但可靠性较差, 比如 d 图中的裂纹就没有提取出来; 改进的分水岭算法<sup>[21]</sup>在图 a~d 中都基本能够正确的提取裂纹, 但是 e 图左上侧的裂纹目标提取不够完整, 而且耗时相对较长; 本文算法虽然比 Otsu 方法消耗时间略长, 但是对于不同的裂纹图片, 自适应性较强, 检测的裂纹目标准确, 含有的噪声少, 目标与背景分离比较完全, 同时分割后撕裂部分的信息没有太大的损失, 在最大程度上保证了裂纹的完整性。

### 3 结论

根据人类视觉的选择注意特性以及信息论的相关知识, 提出了融合显著性和一维最大熵的显著目标检测方法. 将此方法应用于输送带撕裂图像的检测, 在检测效果、抗噪能力等方面获得了较为满意的结果. 为了满足输送带在线检测的实时性要求, 算法还有待于进一步优化。

### 参考文献

- 张安宁, 孙宇坤, 尹中会. 带式输送机防纵撕保护研究现状及趋势. 煤炭科学技术, 2007, 35(12): 77-79.
- 陈滨, 田启川. 改进的快速 Otsu 自适应分割算法及其在应用. 计算机应用研究, 2012, (29)4: 1572-1575.
- Bernsen J. Dynamic thresholding of gray-level image. Proc.

- of the 8th International Conference Pattern Recognition. Paris France: IEEE Press, 1986: 1251-1255.
- 唐艳同, 乔铁柱, 牛犇. 输送带纵向撕裂在线监测预警系统的设计. 煤矿机械, 2012, 33(5): 242-245.
- 冯广生, 李文英. 图像处理技术在胶带撕裂检测中的应用. 机械工程与自动化, 2007, (3): 104-106.
- 卫霞. 基于图像处理的传送皮带裂纹检测[硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2011.
- Hou XD, Zhang LQ. Saliency detection: a spectral residual approach. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis, USA: IEEE Press, 2007: 1-8.
- Kapur JN, Sahoo PK, Wong AKC. A new method for gray-level picture thresholding using the histogram. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, (29): 237-285.
- 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. 应用光学, 2011, (32)4: 678-682.
- Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. IEEE Trans Patt Anal and Mach, 1998, 20(11): 1254-1259.
- Itti L, Koch C. A saliency-based search mechanism for overt and cover shifts of visual attention. Vision Research, 2000, 40(10-12): 1489-1506.
- 李策, 虎亚玲, 曹洁, 田丽华. 基于对数 Gabor 的超附属视觉显著性检测算法. 计算机工程, 2012, 38(7): 148-151.
- 马儒宁, 徐小坡, 丁军娣, 杨静宇. 视觉显著性凸显目标的评价. 自动化学报, 2012, 38(5): 870-876.
- 王秀芬, 王汇源, 王松. 基于背景差分法和显著性图的海底目标检测方法. 山东大学学报(工学版), 2011, 41(1): 12-16.
- 张曦, 叶涛, 刘鸿鹏, 陈永冉. 基于 ARM9 的输送带纵向撕裂检测系统研究. 煤炭科学技术, 2011, 39(12): 102-104.
- 李宏, 杨立峰. 井下胶带输送机胶带纵向撕裂检测保护的研究. 机电产品开发与创新, 2011, 24(6): 142-144.
- 魏军伟, 方敏. 基于最大熵和形态学的边缘检测. 计算机工程与应用, 2007, 43(21): 70-71.
- 曹力, 史忠科. 基于最大熵原理的多阈值自动选取新方法. 中国图像图形学报, 2002, 7(5): 461-465.
- 魏涛. 煤炭输送带裂纹检测技术研究[硕士学位论文]. 太原: 中北大学, 2010.
- 张新明, 张爱丽, 郑延斌, 孙印杰, 李双. 改进的最大熵阈值分割及其快速实现. 计算机科学, 2011, 38(8): 278-252.
- 徐奕奕, 刘智琦, 刘琦. 基于改进的分水岭算法图像分割方法研究. 计算机仿真, 2011, 28(9): 272-275.