

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.08.026

基于对称差分 and 特征匹配的纱线 运动疵点实时检测*

沈凌飞, 孟旭炯

(杭州电子科技大学 智能与软件技术研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对纱线高速运动时无法实时准确检测疵点的问题,提出了一种高速纱线的实时疵点检测算法,该算法适用于实时处理大容量图像和高速移动纱线疵点检测。该算法通过将对称差分算法和连通域特征匹配方法相结合,提高了纱线疵点检测准确性,同时缩短了处理时间。首先对图像进行了预处理,再使用对称差分算法分解疵点图像并提取了图像疵点特征,然后使用连通域特征匹配方法识别了疵点。改进了传统差分算法无法抗抖动缺点,比较完整地保留了疵点信息,构造了识别能力特别强的特征匹配方法。最后,将该算法疵点检测的准确性和检测速度与现有检测方法进行了对比分析。研究表明,该算法在准确性方面优于人工检测及传统差分算法,检测速度相对神经网络和传统差分算法有所提高,该算法能够在实现实时、快速检测疵点的同时保证检测疵点检测的准确性。

关键词: 疵点检测; 实时处理; 高速移动纱线; 对称差分算法; 连通域特征

中图分类号: TS11; TP311 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)08-1010-06

Real-time defect detection based on symmetric difference and component match for high-speed moving yarn

SHEN Ling-fei, MENG Xu-jiong

(Institute of Intelligence and Software Technology, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problems of a real-time defect detection algorithm for high-speed yarn, this algorithm was used to solve the defect problem of real-time to accurately detecting. The algorithm was suitable for real-time processing of large-volume image and high-speed moving yarn defect detection. By the symmetrical differencing algorithm and connected component matching, the algorithm was combined to improve the yarn defect detection accuracy while reducing processing time. Firstly, image needed preprocessing, then images were decomposed and extracted by using symmetrical differencing algorithm, and then, defects were recognized by using the connected component. The shortcoming of anti-tremble of the traditional differential algorithm was improved. Component matching method with particularly strong ability of identifying was constructed. Finally, the algorithm's defect detection accuracy and detection speed were compared with existing detection methods analysis. The results indicate that this algorithm is better than manual detection and traditional algorithms, detection speed relative to the neural network and the traditional algorithms has been improved. It is considered that the algorithm is able to achieve real-time rapid detection of defects at the same time ensure the detection accuracy of defect detection.

Key words: defect detection; real-time processing; high-speed moving yarn; symmetrical differencing algorithm; connected component

0 引 言

近年来在纺织行业,企业在重视增加产品产量的

同时越来越关注产品质量。当纺织行业快速发展时,疵点的准确、快速检测对于企业获得核心竞争力就显得非常重要。纱线检测的方法有传统的人工检测法,

收稿日期: 2013-03-04

基金项目: 浙江省重点科技创新团队资助项目(2010R50008)

作者简介: 沈凌飞(1987-),男,浙江嘉善人,主要从事智能控制与嵌入式和图像处理方面的研究。E-mail: shenlingfei2008@163.com

应用比较广泛的乌斯特均匀度仪法,但是两者在纱线检测过程中都会受到一些客观因素的影响,如人工检测法受人为的不同评判标准和随之而来的疲劳和漫不经心等因素影响,采用乌斯特均匀度仪法时纱线的张力和毛羽粘度受环境温、湿度影响,导致检测效果不佳^[1]。但是随着图像处理在纺纱检测上的应用,可以从技术上排除一些客观因素的干扰,并且随着计算机技术在处理速度、存储上的飞跃式发展,促进了图像处理技术的广泛应用,因此将图像处理技术应用于纱线检测是当前研究趋势。

从图像处理角度而言,纱线检测实质上是运动图像检测,即在背景静止情况下,使用摄像头实时拍摄运动纱线,根据图像处理技术对纱线进行检测,因此使用图像处理技术处理纱线问题具有可行性。常见的运动目标检测算法有传统差分算法^[2]和基于背景图像与当前帧差的算法,这些算法虽然能进行快速目标检测,但在实际场景中往往不能精确提取出运动目标,无法消除纱线抖动影响,从而给后续的处理带来一定的困难。神经网络方法作为一种新兴的目标图像识别方法^[3-4],由于其固有的特征,如信息分布式存储、大规模自适应并行处理、高度的容错性等,在目标图像识别领域表现出了极大的优势,但它的主要缺点是检测能力强弱很大程度上依赖于训练样本的丰富性和纱线疵点种类情况,应用神经网络作检测训练时间和收敛性方面都会存在一些问题,因此如何兼顾检测时间和检测效率越来越受到关注。

在总结了前人研究成果的基础上,针对纱线疵点检测的快速准确要求,本研究提出一种基于对称差分算法与连通域^[5]特征匹配的纱线实时检测方法,改进传统差分算法缺点,并构造一种连通域匹配方法。它首先对纱线图像进行预处理和对称差分算法分解出疵点图像,然后提取出图像特征,最后使用连通域特征识别疵点,完成纱线疵点检测。实验结果表明,该方法能够准确、快速地检测出纱线疵点。

1 在线检测算法

1.1 图像预处理

图像预处理的目的是为了增强图像中目标和背景的对比度,并去除采集和传输图像时产生的噪声^[6]。一般来说图像通过摄像系统获取,会受到摄像系统和记录设备动态范围的限制,而不能直接被视觉处理系统使用。本研究对系统获取的图像,进行兴趣区域选取、拉普拉斯滤波、二值化和形态学处理等,使图像灰度间距拉开,边缘细节更清晰,减少噪声干扰和影响,达到系统要求。

1.2 优化的差分算法

1.2.1 传统差分算法

传统差分算法的实现方法是对连续的两帧图片作相减处理,并取差的绝对值,再选取一个合适的阈值进行二值化。其数学表达式为:

$$D_k(x,y) = |f_k(x,y) - f_{k-1}(x,y)| \quad (1)$$

式中: $f_k(x,y)$ —第 k 帧图像, $f_{k-1}(x,y)$ —第 $k-1$ 帧图像, $D_k(x,y)$ —差帧图像。

该方法处理速度快,但有一些固有的缺点:如无法检测运动物体重叠的部分,导致只能检测物体的一部分,存在“检测出来的物体比原物体大很多”的情况。从大量的纱线运动图像中观察分析可知,纱线中的纱疵是很微小的,简单的图像处理流程很难取得好的效果,甚至会处理掉纱线的疵点,误认为是质量良好的纱线。传统差分法适用于检测运动物体的方法和位置,却不适合检测物体的瑕疵。因为纱线运动过程中存在着抖动,导致不同的纱线图像存在着位置差,纱线图片直接差分结果图如图1所示。Frame1和Frame2是纱线质量良好的两幅图,相减后,却残留了抖动轨迹,这样容易导致系统误判断,因此研究者需要提出新的纱线疵点的检测方法和检测流程。

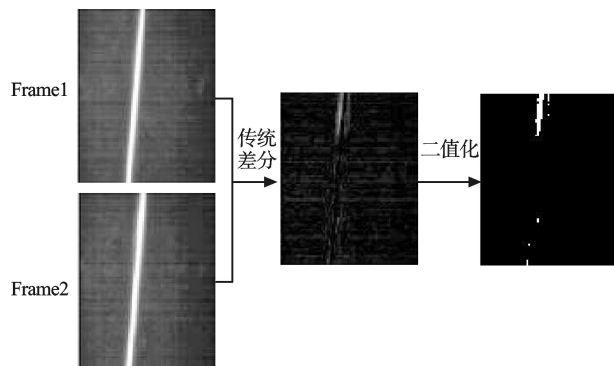


图1 纱线图片直接差分结果图

1.2.2 优化的差分算法

对纱线运动图片进行分析后可得,连续两帧纱线图片的差异是很小的,其主要差别有:

- (1) 位置差:因纱线高速运动及抖动造成的。
- (2) 有无瑕疵:若是同样好质量的纱线,就不存在瑕疵;若两帧图像质量不同,则可以通过优化的差分法提取出瑕疵。

基于这两个差别,可以总结出连续帧纱线图像存在着相关性。在纱线高速运动中,疵点会在采集的图像中呈现拖影,即在视频监控中所谓的“鬼影”^[7]。如果直接使用传统差分处理,很难处理掉,并且纱线由于抖动产生的影响也无法去除。因此本研究提出了一种相对差分算法,该算法能很好地解决上述问题,

并且具有算法复杂度低和耗内存少的优点。

本研究使用对称差分算法思想是源于传统差分算法的差分过程基础上受到启发,对差分图像算法作了进一步的变形,从而更好地获取纱线运动物体的疵点信息和提高抗抖动性,能精确地获得纱线疵点大小和形状^[8]。

设 $f_{i-1}(x, y)$, $f_i(x, y)$, $f_{i+1}(x, y)$ 是运动序列中的3帧前后关联图像,通过传统差分法可得到差分图像 D_1, D_2 :

$$D_1 = |f_i(x, y) - f_{i-1}(x, y)| \quad (2)$$

$$D_2 = |f_{i+1}(x, y) - f_i(x, y)| \quad (3)$$

对称差分法则是以前面获得的差分图像 D_1, D_2 进行“AND”运算,即:

$$D = D_1 \otimes D_2 \quad (4)$$

算法概述:该算法是由运动纱线疵点检测组成,在接下来讲述内容中的图像前提条件是已经进行了预处理。对称差分算法的处理流程如图2所示,以如下步骤执行:

(1) 纱线运动检测。根据纱线运动情况,笔者选取图像中的连续3帧图像作为原始图,分别将第1帧与第2帧图像、第2帧与第3帧图像差分,最后获得差分后图像。

(2) 对称差分图像。将两幅差分图像进行相与运算,得到运动物体在中间帧的3帧交叉部分,并基于该部分提取运动物体的自身灰度信息,再利用这一信息获取纱线完整的疵点图像。

(3) 疵点判断。仍采用图像像素扫描技术,进行图像拓扑连通性识别实现图像的最后空域分割,提取出图像中各个区域的平均灰度、面积、高、宽等特征参数,并以某一值作为分隔点,如果大于等于该值判定为该帧图像有疵点,反之该帧图像无疵点。

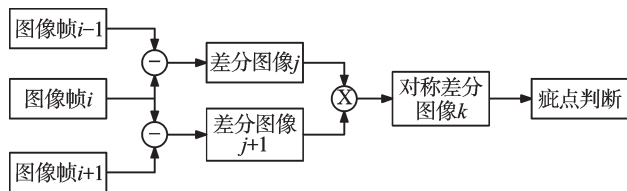


图2 对称差分流程图

1.3 连通域特征匹配

第一步,将两帧二值化的纱线图像按1.2.2节所述进行对称差分运算,差分的结果是保留两帧图像差异区域。

第二步,从对称差分图像分析可知,若两帧质量良好的纱线进行差分,结果具有白色狭窄带状和零星白点状,而有纱疵的差分结果则成块状^[9],纱线差分特

征图如图3所示。

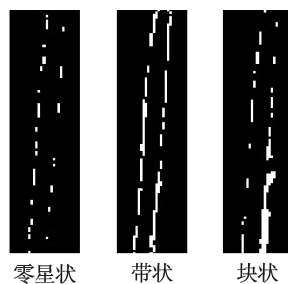


图3 纱线差分特征图

综上所述,研究者可以将带状和白点状、块状作为区分纱线有无纱疵的特征。针对这3种形状可以使用图像连通域的方法计算连通区域的宽和高,换言之,使用连通区域的宽和高表征纱线好坏^[10]。

2 检测算法总流程

综合1.2节和1.3节的理论点和高速实时在线检测算法系统的框架图如图4所示。

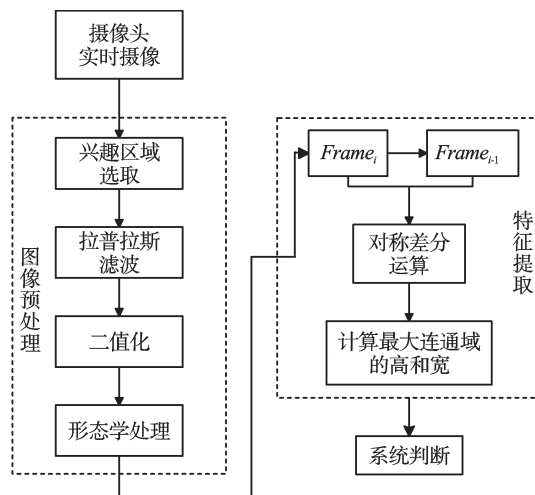


图4 在线检测算法系统的框架图

纱线运动图像检测的流程为:

(1) 纱线图像采集。图像通过摄像头采集后传递到处理板。纱线图如图5所示。

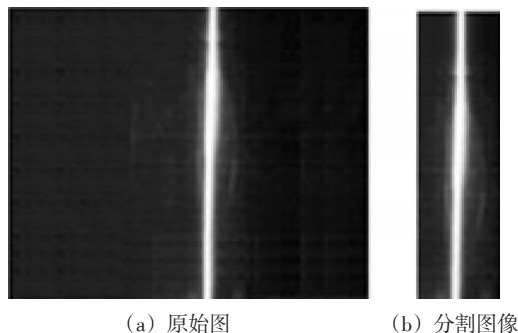


图5 纱线图

(2) 兴趣区域选取。要处理大容量图像数据,核心过程是从背景区域中分离出感兴趣区域。如图5(a)所示,背景过大会增加检测算法的时间和内存,对

于嵌入式领域这两点的优化最为重要的,因此图像分割必须优先于其他预处理算法。该算法使用链码搜索算法分割,从线扫描相机获得的原始图像和尺寸为 64×512 分割图像分别如图5(a)、5(b)所示。

(3) 拉普拉斯滤波。疵点和纱线有显著不同频率,利用图像的梯度信息分离的图像有不同的灰度级。长圆筒棒形的纱线如图5(a)所示,纱线发光区域中心最亮,并向两边逐渐变暗,水平方向上的梯度如图6(a)所示。所使用的拉普拉斯滤波器罩 Q_{B_m} 矩阵如下:

$$Q_{B_m} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \vdots & 2 & \vdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & 2 & \dots & N & \dots & 2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \vdots & 2 & \vdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (5)$$

式中: $N=(m+1)/2$,在该实验中拉普拉斯矩阵大小 $m=4$ 时,得到实验效果最佳。纱线图像通过拉普拉斯滤波器后的梯度图如图6(b)所示。

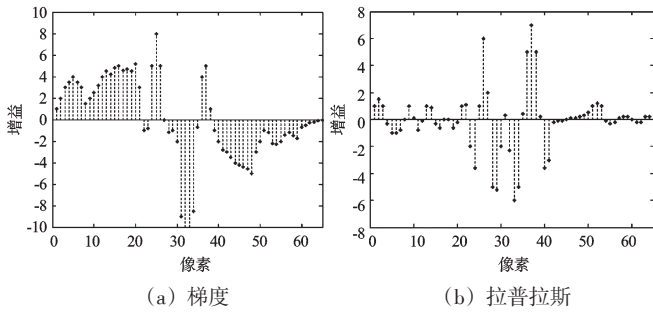


图6 增益图

(4) 二值化。二值化阈值由上一段中的拉普拉斯值决定,在纱线没有疵点出现时,即在背景学习阶段,获得若干帧连续图像中拉普拉斯滤波器值变化的序列样本,来估算图像序列中对二值化阈值初始值选取 T_0 。确定阈值的方法是最大每帧图像拉普拉斯值作为参考标准,最佳阈值 T 通过下式选取:

$$T_i = \delta \cdot N_{\max i} \quad (6)$$

式中: $N_{\max i}$ 是一每帧图像最大拉普拉斯值, T_i —每帧图像阈值, δ —最大拉普拉斯值百分数。

阈值处理公式如下:

$$\mu(x) = \text{sgn}(x) \cdot \max(|x| - T_i, 0) = \begin{cases} x - T_i, & x \geq T_i \\ 0, & |x| < T_i \\ x + T_i, & x \leq -T_i \end{cases} \quad (7)$$

式中: $\text{sgn}(\cdot)$ —符号函数。

本次阈值处理函数为软阈值化,即是将图像灰度 x 的绝对值与阈值进行比较,然后根据结果再向0进行收缩。该算法在空间上更加接近极大准则的理想值,使去噪后的信号更加平滑。

(5) 形态学处理。为了在自适应阈值二值化消除

噪声后仍保持原状,本研究使用了形态学技术,使用腐蚀去除噪声后,疵点图像的尺寸需要通过膨胀操作进行补偿。

(6) 纱线图像特征提取。先进行帧间图像差分,差分策略为第 i 帧纱线图像的预处理结果减去第 $i-1$ 帧得到一幅差分图像,保存第 i 帧纱线图像的预处理结果,待第 $i+1$ 帧与第 i 帧作差分运算。

(7) 差分运算。针对在上一段的差分后图像,再用同样的差分算法对前一帧获得的 $j+1$ 差分图像和后一帧图像的 $j+2$ 差分图像进行再次差分运算,得到 $k+1$ 对称差分图像。

(8) 系统判断。在对称差分图像中,计算最大连通域的宽和高。

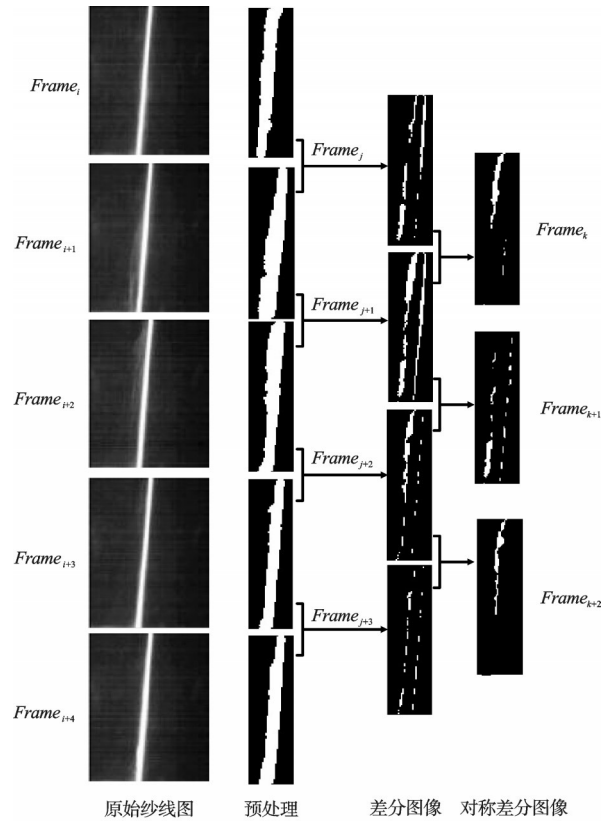


图7 纱线运动图像实时处理结果

纱线运动图像连续帧处理的结果如图7所示,罗列各种可能的情况:无纱疵的纱线帧差分($Frame_{i+4}$, $Frame_{i+3}$),有纱疵和无纱疵的纱线帧差分($Frame_{i+1}$, $Frame_i$),也有纱疵和纱疵的纱线帧差分($Frame_{i+2}$, $Frame_{i+1}$)。图像处理效果印证了本研究所提的纱线连续帧处理思想的正确性和可行性,以及所使用的图像处理技术的适用性。

3 检测算法性能测试

为了检测本研究提出算法的有效性和鲁棒性,本研究使用纱线实验进行了准确和效率验证。准确性验

证:该算法检测和人工检测进行对比;处理速度验证:该算法与传统差分算法和神经网络算法进行对比。

3.1 检测准确性

本研究使用长度足够长的纱线进行测试实验,在起点处和结束处进行标记,并进行了多组测量纱线长度为90 m的疵点检测,其中每间隔10 m的准确疵点数量如表1所示。将检测实验结果数据与使用肉眼检测的人工检测结果进行比较,使用该算法检测结果和人工目测结果的平均误差如表2所示。

表1 疵点数量检测结果

疵点结果/(个)	纱线长度/m	10	20	30	40	50	60	70	80	90
准确疵点数		23	37	44	62	68	77	85	91	101
优化差分算法		23	38	45	63	70	79	87	92	102
人工检测		24	39	46	64	71	80	89	95	105

表2 疵点检测结果平均误差

误差率/(%)	纱线长度/m	10	20	30	40	50	60	70	80	90
优化差分算法		0	2.70	2.72	1.61	2.94	2.60	2.35	1.10	0.99
人工检测		4.35	5.41	4.55	3.23	4.41	3.90	4.71	4.40	3.96

注:人工检测是通过工具(照布镜和直尺)测量出疵点个数,在平台中计算测量误差的是采用浮点数进行存储和计算的。

计算结果精确到小数点后两位,疵点监测结果的平均误差系数(δ)的计算如下式所示:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{(x_i + y_i)} \times 100\% \quad (8)$$

式中: n —纱线区域的个数, x_i —检测的结果数据, y_i —目测结果。

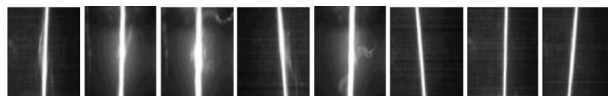
由式(8)计算得到优化差分算法平均误差系数 $\bar{\delta}_1=1.89\%$ 和人工检测平均误差系数 $\bar{\delta}_2=4.32\%$,可知该算法的准确性优于人工检测方法。

3.2 检测速度

另外为了评价该检测的速度,本研究使用测试平台ARM9(S3C2410,主频202.8 MHz)和包含121个疵点的980张连续纱线图像进行了分析,其中测试样本对有无疵点共分两类:一类是有疵点的纱线(编为纱线I);一类是正常的纱线(编为纱线II),部分测试样本如图8所示。3种算法的处理时间和准确率如表3所示,从中可知优化差分算法和神经网络准确性最高,但同时优化差分算法处理速度更快,从而证明了优化差分算法在速度和准确率上都优于现有检测算法。

4 结束语

本研究提出一种纱线高速实时在线检测算法并成功地应用于纱线疵点检测,首先对图像进行预处理:



(a) 纱线原图



(b) 纱线轮廓图



(c) 纱线兴趣区域图

图8 部分测试样本图片

注:图中的8张原始纱线图片来自于35张训练样本,前5张为纱线I,后3张为纱线II

表3 3种算法的处理时间和准确率比较

算法	最小处理时间/ms	最大处理时间/ms	平均处理时间/ms	处理速度比较	准确率比较
传统差分算法	7 970	8 227	8 176.5	快	80%(低)
神经网络	9 001	10 046	9 539.5	慢	97.3%(高)
优化差分算法	7 889	8 167	8 009	快	98.2%(高)

注:每种算法反复测试10次进行最少处理时间、最大处理时间、平均处理时间和准确率的统计。

理,通过对称差分算法分解疵点图像和提取图像特征,后使用连通域特征识别疵点,测试结果相对比较准确,处理速度快。本研究改进了传统图像差分算法的不足,不仅在差分图像上抑制了运动抖动影响,并且比较完整地保留纱线的疵点信息。构造了一个连通域特征匹配方法用于疵点识别,该特征量对目标形状检测能力强,并且不受目标大小和平移的影响。通过在嵌入式中的实验测试和分析,证明了本研究提出的优化的差分算法具有较强的鲁棒性、可行性和实用性。该算法存在处理视频帧时有一帧时间的滞后,但由于目前采用的视频设备的采样和传输达到120 fps以上,该滞后时间(小于8 ms)非常短,基本完全达到实时在线检测的要求。

参考文献(References):

- [1] 周绚丽,成玲. 计算机图像处理技术在纱线质量检测中的应用[J]. 纺织科技进展,2008(1):32-34.
- [2] CAVAN R A. Improved tracking and data fusion through sensor management and control[C]//Proceeding on Data Fusion Symposium. Monterey, California, USA: [s.n.], 1987: 66-65.
- [3] KANG Ge-wen, LIU Hong-bing. Surface defects inspection of cold rolled strips based on neural network [C]//Machine Learning and Cybernetics, Proceedings of 2005 International Conference. Chengdu: [s.n.], 2005:5034-5037.

(下转第1019页)

径轨迹。为更好地说明该系统的定位性能,本研究取声源定位实测数据作相对误差分析,其折线分布如图6所示。

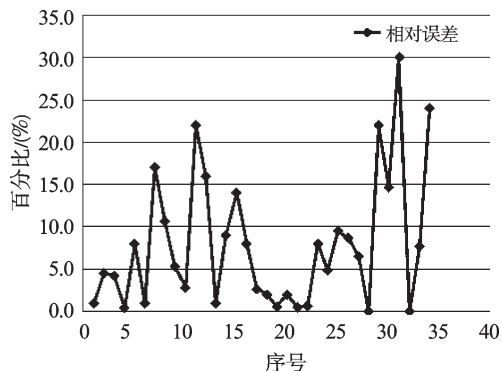


图6 相对误差折线分布图

综上所述,移动声源发声功率 $P=50.1\text{ mW}$,产生占空比为10%、工作频率 $f=497\text{ Hz}$ 的低功耗声源信号。系统定位功能的最大绝对误差为2.6 cm,相对误差中值为5.3%。通过按键切换,可实现持续1 s或不间断式发声的移动声源定位功能。

5 结束语

本研究根据TDOA算法设计了一套4路信道的声音定位系统。系统以C8051F330单片机为移动声源的主控部分,可持续1 s或不间断式地发送占空比为10%的窄脉宽声源信号,有效降低了声源功耗,提高了信号辨识度,这是系统的设计初衷与创新点之一。经带通滤波、两级放大和信号整形后,较大地提高了信噪比和定位精度。而后以C8051F020单片机为数据处理核心,接收FPGA 4路信道传送的脉宽计数值,判断移动声源坐标。

经实际测试,在误差允许范围内,系统可准确地

判断移动声源所在的区域,并实时显示声源坐标和行径轨迹,具有低功耗、稳定性好、精度高、实时性佳的特点。此外,受诸多外界因素影响,系统定位功能不可避免地存在一定误差。一方面,由于系统的制作工艺、外界噪声干扰和声音反射效应,降低了有效声源的信噪比。另一方面,移动声源和拾音器接收电路在水平高度方面的差异性与喇叭面的扩散效应也极大地影响着系统的定位性能。为此,硬件设备的稳定工作和软件算法的优化处理对声音定位的实时性与精度的提高起到了至关重要的作用,并明确了系统的改进方向。

参考文献(References):

- [1] 杨文凯,郭顺天,叶涛. 小波变换在被动声源定位中应用[J]. 噪声与振动控制,2005,12(6):19-21.
- [2] 龚小章. 特定声音识别与定位系统[J]. 电子科技,2011,24(8):36-45.
- [3] 胡胜,杨雷,宋跃,等. 基于ARM7的声音导引系统的设计[J]. 自动化仪表,2010,25(12):46-49.
- [4] 韩毅,吴初娜,李龙飞. 基于到达时差的声音定位系统的研究与实现[J]. 计算机工程与设计,2010,31(11):2465-2462.
- [5] 栗苹,施聚生,崔战中. 被动声定位系统的设计与应用[J]. 北京理工大学学报,1994(10):80-85.
- [6] 周浩洋. 基于麦克风阵列的声源定位方法研究[D]. 大连:大连理工大学电气工程系,2002(3):2-3.
- [7] 程德志,刘国忠,罗倩. 麦克风阵列声音信号采集系统设计[J]. 中国科技财富,2010(1):24-25.
- [8] 周永福. 一种TDOA算法的设计[J]. 计算机光盘软件与应用,2012(6):151-152.
- [9] MITRA S K. Digital Signal Processing[M]. 3rd ed. USA: Mc Graw-Hill International Edition,2006.
- [10] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2006.

[编辑:李辉]

(上接第1014页)

- [4] JAYANTA K, CHANDRA, ASIT K, et al. Detection of defects in fabrics using subimage-based singular value decomposition[J]. *Journal of The Textile Institute*, 2012, 104(3):295-304.
- [5] 张恒,胡文龙,丁赤飏. 基于快速连通域分析的目标特征提取算法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(29):230-232.
- [6] LIN Jie, LUO Si-wei, LI Qing-yong, et al. Real-time rail head surface defect detection: A geometrical approach[C]// Industrial Electronics 2009, ISIE 2009, IEEE International Symposium. Beijing: [s.n.], 2009:769-774.
- [7] ZHANG Wu-yi, ZHAO Qiang-song, LIAO Liang. Develop-

- ment of a real-time machine vision system for detecting defects of cord fabrics[C]// Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference. Taiyuan: [s.n.], 2010:539-543.
- [8] 肖术骏,朱学峰. 一种改进的快速高效的差分进化算法[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2009,32(11):1-5.
- [9] 许小健,黄小平,钱德玲. 自适应加速差分进化算法[J]. 复杂系统与复杂性科学,2008,5(1):87-92.
- [10] 王强. 运动物体检测与跟踪研究及系统实现[D]. 上海:上海交通大学电子信息与电气工程学院,2011.

[编辑:李辉]