钎焊环检测中的图像拼接方法研究

钟星,徐向纮

(中国计量学院,杭州 310018)

摘要: 钎焊环检测系统中,采集的图像序列可能具有不完整环或重叠环。通过调整传送带速度和设置固定相 机的曝光时间,确定了2幅图像的重叠区域;将图像去噪、灰度化和二值化,得到了具有清晰轮廓的图像;然后 结合 LSSVM 和 CA 对图像边缘进行了检测,利用互信息法实现了图像配准;最后采用渐入渐出法进行了图像 融合,得到了最终的拼接图像。实验表明,这种方法可以快速准确地实现钎焊环图像的拼接。 关键词:钎焊环;最小二乘支持向量机;元胞自动机;图像配准;图像融合

中图分类号: TS865 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2011)21-0110-05

Study on Image Mosaicing Methods of Brazing Rings Inspection

ZHONG Xing, XU Xiang-hong

(China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In brazing rings inspection system, there may be incomplete or overlapping rings in image acquisition sequence. The overlapping area of two images was determined by adjusting the speed of conveyor and exposure time of fixed camera. Then, LSSVM and CA was applied to detect the image edge and image registration was implemented by cross correlation method. The final image was acquired by image fusion based on fade-in-fade-out method. The experiment results indicated that this method can achieve brazing rings image mosaicing quick-ly and accurately.

Key words: brazing rings; least squares support vector machine (LSSVM); cellular automata (CA); image registration; image fusion

在缺陷钎焊环检测系统^[1]中,采用了分区域开槽 传送带将钎焊环在传送带上进行分块,每一块上的钎 焊环都被完整采集到一幅图像内。实验分析表明,这 种设计存在传送带寿命短和不便于缺陷钎焊环剔除 操作的不足。针对以上的问题,笔者设计一种不用开 槽的传送带,以改善检测系统的寿命和实用性。将钎 焊环平铺在传送带上,则采集的图像存在2个问题: (1)在前后2幅图像中可能会有重叠的同一个或同一 片区域钎焊环;(2)图像中可能存在不完整环。针对 该问题,提出利用数字图像拼接技术将采集到的图像 进行拼接,获得无缝高精度连续图像,为识别和检测 做准备。

图像拼接技术是指将不同条件下获取的具有重

叠区域的2幅或多幅图像,拼合成一幅宽视角的无缝 高分辨率图的技术^[2]。目前图像拼接的算法主要包 括基于区域的配准算法和基于特征的配准算法。前 者主要利用图像灰度信息进行配准,计算量大,速度 较慢,而且对图像畸变适应能力弱;后者利用图像间 的显著特征进行配准,如点、直线、曲线、边缘、曲面、 不变矩和区域等,虽然提高了对图像畸变的适应性, 但降低了配准的精确度和准确性。

检测系统中采集的图像具有轻微几何变形、显著 特征较少、传送带受压易形成凸起和凹下的图像模糊 阴影、检测环境的光照不均匀、易受噪声和震动干扰 等特点,结合最小二乘支持向量机和元胞自动机进行 边缘检测,采用互相关的方法进行匹配,综合基于特

收稿日期: 2011-09-20

作者简介:钟星(1987-),男,贵州人,中国计量学院硕士生,主攻数字图像处理、自动检测技术。

通讯作者:徐向纮(1963一),男,博士,中国计量学院教授,主要研究方向为制造系统工程、机电产品检测技术、制造装备与自动

征和区域2类算法的优点,既提高算法速度,又保证 算法精度,克服单个算法局限性,提高配准的适应性, 有效地去除各种干扰,实现快速高精度的图像拼接。

1 图像拼接流程

将2幅具有部分重叠的图像进行拼接,主要包括 图像预处理、图像配准和图像融合。分别读入前后采 集的2幅图像,通过预处理提高图像质量,然后提取 图像特征点,进行特征点匹配,消除匹配缝隙和痕迹, 其拼接流程见图1。



图 1 图像拼接的流程 Fig. 1 Flow of image mosaic

2 图像拼接算法

2.1 基于最小二乘支持向量机(LSSVM)和元胞自动 机(CA)的图像边缘检测算法

2.1.1 由 LSSVM 计算图像像素梯度值

用连续函数 $y = f(x): R^2 \rightarrow R^1$ 表示一幅二维灰 度图像,输入为二维向量,表示像素点行、列坐标值, 输出为标量 y;表示输入 x 所对应的像素点的灰度 值,由 LSSVM 算法^[3]确定输入向量和像素点之间的 非线性关系:

$$\begin{cases} a = A(Y - Ib) \\ b = BY \end{cases}$$
(1)

式中: $A = [K(x_i, x_j) + r^{-1}I]^{-1}; B =$ $\frac{I^{T}[K(x_i, x_j) + r^{-1}I]^{-1}}{I^{T}[K(x_i, x_j) + r^{-1}I]^{-1}I}, \Im A \ \Pi B \ \exists \mathfrak{h} \lambda \setminus \overline{K}$ 函数 K,r有关,常矢量空间样本数r固定且不变,故选用 核函数即可进行图像拟合。

令 R,C 为原始图像某像素对称邻域内的坐标 集,如 $R = \{-1,0,1\}, C = \{-1,0,1\}$ 。综合高斯核学 习能力强和多项式核泛化性能强的优点,构造新的 Gauss 径向基-多项式核函数: $k(x,x_i) = \exp(-|x-x_i|^2/\sigma^2) + (x \cdot x_i + 1)^d$,则图像灰度拟合函数为:

$$f(r,c) = \sum_{i=1}^{N} a_i \{ \exp[-(|r-r_i|^2 + |c-c_i|^2)/\sigma^2] + (rr_i + cc_i + 1)^d \} + b$$
(2)

求 f(r,c)在点(r,c)处水平和垂直方向的一阶偏导数,可得到梯度值矩阵^[4]:

$$\begin{cases} \boldsymbol{M}_{H} = \boldsymbol{F}_{H} * \boldsymbol{I} = \boldsymbol{F}_{r} * \boldsymbol{I} \\ \boldsymbol{M}_{V} = \boldsymbol{F}_{V} * \boldsymbol{I} = \boldsymbol{F}_{c} * \boldsymbol{I} \end{cases}$$
(3)

2.1.2 结合元胞自动机进行边缘检测[5]

以式(3)得到的梯度值矩阵为对象映射到元胞空间,故有限状态集 $S = \{0, \dots, 255\}$;选用 Von Neumann 邻域类型,则元胞空间矢量大小N = 4;再由演 化规则R得到边缘检测结果。按照梯度值将元胞分 成4类,即 $CA_i, i \in \{1, 2, 3, 4\}$ 。

1) 归类所有邻域内的元胞,记为 $S'_{V_{ix}+m,V_{iy}+n} \in CA_i$, m=0,1,n=0,1,并统计邻域内从属于 CA_i 类的 元胞数目 Mum(CA_i);利用最大值算法得到包含最多 邻域元胞数的类 CA_{max} ; 求时刻 t 属于 CA_{max} 类的邻域 元胞的元胞状态 $S'(CA_{max})$ 及其和 Sum($S'(CA_{max})$), 并求 Bool=[max(Num(CA_i))= CA_{max}] and [Sum ($S'(CA_{max})$)>254]。

计算 *t*+1 时刻中心元胞(*V_{ix}*,*V_{iy})的灰度值。
 Bool=True:*

 $N^{t+1}(V_{ix}, V_{iy}) = R[N^t(V_{ix}, V_{iy})] =$

$$\begin{split} R (S_{V_{ix}+0,V_{iy}+0}^{t}, S_{V_{ix}+0,V_{iy}+1}^{t}, S_{V_{ix}+1,V_{iy}+0}^{t}, S_{V_{ix}+0,V_{iy}-1}^{t}, \\ S_{V_{ix}-1,V_{iy}+0}^{t}) = S_{V_{ix}+0,V_{iy}+0}^{t} \end{split}$$

Bool=True:

$$\begin{split} N^{t+1} (V_{ix}, V_{iy}) &= R [N^{t} (V_{ix}, V_{iy}] = R \\ (S^{t}_{V_{ix}+0,V_{iy}+0}, S^{t}_{V_{ix}+0,V_{iy}+1}, S^{t}_{V_{ix}+1,V_{iy}+0}, S^{t}_{V_{ix}+0,V_{iy}-1}, \\ S^{t}_{V_{ix}-1,V_{iy}+0}) &= 0 \end{split}$$

 直到 Nⁱ⁺¹(V_{ix}, V_{iy})=Nⁱ(V_{ix}, V_{iy})时, 演化达 到稳定状态, 得到图像边缘。

2.2 基于互信息的图像配准方法

具有重叠区域的2幅拼接图像像素点之间的灰度信息在统计学上是相关的,并非独立。定义检测的边缘点之间的互相关系数来表示图像配准的相似性

测度,确定最匹配的特征点对,寻找2幅图像的空间 变换,实现图像配准。

通过控制同一传送带驱动电机速度和设置固定相机估计图像 I1 和图像 I2 的重叠区域,然后选用重叠区域边缘点描述特征集,I1 中任选特征点 A,若 I2 中存在

点 *B* 与点 *A* 纵坐标相差很小,则 *B* 是 *A* 对应的特征 点;利用互信息的方法进行相似性度量^[6],计算相似 度,并在 *B* 点周围进行全局搜索,找到最佳匹配点。

令图像 I_1 中点 $A(x_1, y_1)$,图像 I_2 中点 $B(x_2, y_2)$,其周围点 $B'(x'_2, y'_2)$,则与 B 点的相似度为:

$$S = \frac{\sum_{i=-N}^{N} \sum_{j=-M}^{M} [I_A(x_1+i,y_1+j)] \cdot [I_B(x_2+i,y_2+j)]}{\sqrt{\sum_{i=-N}^{N} \sum_{j=-M}^{M} [I_A(x_1+i,y_1+j)]^2} \sqrt{\sum_{i=-N}^{N} \sum_{j=-M}^{M} [I_B(x_2+i,y_2+j)]^2}}$$

S 越大,点 $B'(x'_2, y'_2) 与 A(x_1, y_2)$ 越相似。确 定 S 的最大值,其对应的那个点就是最佳匹配点。

考虑到实际应用中钎焊环图像的几何变换包括 平移、小角度旋转,因此图像几何变换模型采用仿射 变换,它具有非常普遍的形式,可以表示相机的平移、 旋转和缩放运动,存在6个自由度:h1,h2,h3,h4,h5, h6。

2.3 图像融合

确定图像重叠区域和匹配点后执行图像拼接,直 接拼接会产生明显的拼接痕迹和亮度差异,为了消除 接缝,采用自然缝合算法实现平滑过渡。选用渐入渐 出^[7]的图像融合算法:

$$I(x,y) = \begin{cases} I_1(x,y) & (x,y) \in I \\ d_1 I_1(x,y) + d_2 I_2(x,y) & (x,y) \in (I_1 \cap I_2) \\ I_2(x,y) & (x,y) \in I_2 \end{cases}$$
(5)

I 代表拼接后的图像,d₁和d₂ 代表权重值,目d₁ +d₂=1,0<d₁<1,0<d₂<1。d₁由1变为0,d₂ 由 0 变为1,实现在图像重叠区域由图像 I₁ 平滑过渡到 I₂。

3 实验结果及性能评价

3.1 实验结果

钎焊环拼接实验在 PC(CPU 为 2.2 G,内存为 2 G)机 VC6.0 平台上实现,采用大恒公司生产的型号 为 DH-SV1410FC 的彩色数字摄像机和日本 CCS 公 司的 LFX-100RD 红光光源采集待拼接图 I₁和图 I₂, 见图 2,其大小都是 1 392×1 040;通过对彩色图像灰 度化、二值化分离背景和钎焊环等预处理,结合 LSS-VM 和 CA 进行边缘检测,得到图像边缘信息见图 3; 根据式(4)确定最佳匹配边缘点对,计算仿射变换矩



图 2 待拼接的图像 Fig. 2 Source images





(4)

图 3 结合 LSSVM 和 CA 边缘检测后的图像 Fig. 3 Edge detected by LSSVM and CA

阵的6个参	数,得到仿	射变换矩阵	H =
1.000 000	-0.000 000	-600.000 000	
-0.022076	0.994 630	37.475 537	,利用
0.000 000	0.000 000	1.000 000	

H进行图像配准;再根据式(5)进行图像融合,几何形状调整,消除拼接缝隙和鬼影,得到的拼接图像见图4。



图 4 拼接后的图像 Fig. 4 Mosaic images

3.2 性能评价

图像拼接性能评价分为主观评价和客观评价。 前者通过人眼视觉效果进行分析,由测试人员定性地 对图像拼接质量给出判断;后者通过建立各种定量分 析的数学模型,计算得到各种图像质量的科学指 标^[8]。

3.2.1 主观评价试验

1) 实验图像。任意选用 10 组相邻的序列图像,
 经过图像拼接(图像 I₁ 和图像 I₂, I₂ 和 I₃,..., I₉ 和
 I₁₀, I₁₀和 I₁₁)得到 10 幅拼接后图像。

2)测试人员。由实验室 4 名研究生和 2 名教师 组成,其中 4 名男性,2 名女性,年龄在 22~32 周岁之 间,有正常或经过校正的正常视力,并且都具有一定 的图像专业知识和产品在线检测经验。

 3) 评价分数。由测试人员采用相对评价方法, 按照 1~7 的等级对 10 幅拼接图像进行打分,见表 1。

表1 相对评价的尺度和分值

Tab.1 Relative assessment metric and score value

7	6	5	4	3	2	1
	Good	Fair Poor				

4)实验过程。钎焊环图像拼接后的主要目的是 检测缺陷钎焊环,包括暗色环、开口环和异形环,这就 要求拼接后得到高质量的图像。通过对测试人员进 行训练,判断图像是否有重影、扭曲以及重要信息是 否丢失,判断色彩、亮度、反差是否合适,是否有模糊 或马赛克现象,边缘是否连续等进行评价,得到主观 性能评价分值分布,见图 5。





由主观评价指标图像可知,平均评价指标值为 5.71,拼接图像质量偏好,反映了整个拼接算法的有 效性和准确性。 提高拼接图像分辨率、信息量和清晰度可以精确 地检测出缺陷钎焊环,并且整个拼接过程没有标准参 考图像,因此根据上述原则选取如下客观评价指标。

1) 均值。

$$MEAN = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} F(i,j)$$
(6)

式中:图像为 F,图像的大小表示为 M×N;图像 均值是像素的灰度平均值,表现为平均亮度。

2) 标准差。

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} \left[i - \sum_{k=0}^{L-1} KP(K) \right]^2 P(i)}$$
(7)

式中: 图像灰度分布表示为 $P = \{P(0), P(1), \dots, P(i), \dots, P(L-1)\}; L$ 为灰度级; P(i)为灰度等 于 i 的像素数量与图像总像素数量之比, 且 $\sum_{i=0}^{L-1} P(i) =$ 1。灰度标准差体现灰度相对平均灰度的离散情况, 其值越大,则灰度分布越散, 图像反差越大, 反映的视 觉效果越好。

3) 信息熵。
$$EN = -\sum_{i=0}^{L-1} P(i) \log_2[P(i)]$$
(8)

信息熵表现图像总体特性,其值越大,图像包含的信息量就越大,信息越丰富,拼接图像效果越好。

4) 清晰度。

5) 空间频率。

$$V = \frac{1}{MN} \sum_{a=1}^{M \times N} \sum_{b=1}^{8} w_b \mid \Delta F_b \mid \tag{9}$$

计算清晰度时考虑中间一个像素点与其相邻的 8 个像素点的偏差值, w_b 表示第 b 个像素点的距离权 值, $n \sum_{b=1}^{8} w_b = 1; \Delta F_b$ 表示相邻的第b 个像素点相对中 心像素点的灰度变化量。清晰度的范围是[0,255), 其值越大,图像越清晰,效果越好。

 $SF = \sqrt{RF^{2} + CF^{2}}$ (10) 式中:空间行频率 RF = $\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=2}^{N} [F(i,j) - F(i,j-1)]^{2}}; 空间列频率$ $CF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^{N} \sum_{i=2}^{M} [F(i,j) - F(i-1,j)]^{2}} \circ 空间频$ 率反映图像灰度的整体活动性,其值越大表明拼接效 果越好。

$$G = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \cdot \frac{(\Delta F_2)^2 + (\Delta F_y)^2}{2}$$
(11)

平均梯度反映图像对微小细节反差的表达能力, 平均梯度越大,图像层次越多,表示图像越清晰,拼接 图像质量越好。 7) 边缘强度 EF。 $EF = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} \frac{BF(i,j)}{MN}$ (12)

式中:BF 表示图像 F 的二值图像。

通过对连续4组主观评价方法所采用的待拼接 图像进行拼接,得到4幅拼接图像,计算如上7个客 观评价指标和拼接时间,见表2。

表 2 拼接图像的定量指标

Tab. 2 Ration guide line of mosaic images

	图像	均值	标准差	信息熵	清晰度	空间频率	平均梯度	边缘强度	拼接时间/ms
	$I_{1,2}$	66.914 1	72.758 4	6.156 9	16.251 6	4.938 9	96.559 4	16.450 9	40.109
	$I_{2,3}$	64.994 2	69.6977	6.173	16.963 6	5.746 5	91.489 1	17.340 2	21.015
	$I_{3,4}$	64.895 6	68.731 3	6.212 1	17.963 9	6.441 6	104.145 5	18.175 2	25.703
	${I}_{4,5}$	61.857 8	64.082 3	6.040 7	17.059 8	6.516 9	85.995 2	17.872 5	67.797
-									

从表 2 的数据可以看出,拼接图像均值、标准差 适中,效果较好;熵值偏大,因此细节更为清晰、内容 更为丰富;从清晰度、空间频率和平均梯度来看,整个 拼接图像清晰度很高,质量很好;边缘强度值很大,反 映了图像边缘连续,且不存在虚假边缘,细节信息量 丰富;图像拼接时间均在 100 ms 以下,能够满足产品 缺陷检测。

4 结论

由于钎焊环图像易受检测环境干扰,自身特征 信息量较少,因此采用LSSVM和CA相结合获取图 像边缘信息,能够获得非常细小的边缘宽度和细腻 的细节边缘,降低计算的复杂度,提高算法运行速 度,具有实时性。提取边缘特征值以后,采用互信息 图像配准和渐入渐出图像融合技术获取最终的拼接 图像,实验证明这种方法可以有效地完成钎焊环图 像拼接。

参考文献:

[1] 陈雪丽,徐向纮.基于机器视觉的缺陷钎焊环检测分选 系统方案设计[J].液压与气动,2009(9):26-28.

- [2] GUAN Ping, HU Xin-rong, ZHUANG Yi. Research on Digital Image Mosaic[J]. 2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering, 2010(3):67-69.
- [3] SUYKENS J A K, VANDEWALLE J. Least Squares Support Vector Machine Classifiers[J]. Neural Processing Letters, 1999,9(3):293-300.
- [4] ZHENG Sheng, LIU Jian, TIAN Jin-wen. A New Efficient SVM-based Edge Detection Method [J]. Pattern Recognition Letter, 2004, 25(10):1143-1154.
- [5] 赵雪峰,殷富国,尹湘云,等.支持向量机和元胞自动机 相结合的图像边缘检测方法[J].四川大学学报(工程科 学版),2011,43(1):137-142.
- [6] 邵向鑫.数字图像拼接核心算法研究[D].吉林:吉林大学,2010.
- [7] LIU Su-yi, XIA Lei. A Kind of Method for Fabric Image Mosaic[J]. International Conference on Industrial Mechatronics and Automation, 2010(5):668-671.
- [8] ANGELIS D, MOSCHITTA A, RUSSO A, et al. Image Quality Assessment: an Overview and Some Metrological Considerations [C]. 2007 IEEE International Workshop on Advanced Methods for Uncertainty Estimation in Measurement, Sardagna, Trento, Italy, 2007:47-52.

 \wedge