



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101770641 B

(45) 授权公告日 2012. 08. 29

(21) 申请号 200810230238. 8

(22) 申请日 2008. 12. 26

(73) 专利权人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街
114 号

(72) 发明人 姜春英 郭奇 邹媛媛 康永军
柳连柱

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限
公司 21002
代理人 许宗富 周秀梅

(56) 对比文件

CN 101118225 A, 2008. 02. 06, 全文.

CN 1546995 A, 2004. 11. 17, 全文.

CN 101261679 A, 2008. 09. 10, 说明书第 3
页.

蒋立. 铝合金焊缝 X 射线底片计算机辅助
评定和管理系统. 《重庆大学工程硕士学位论文论
文》. 2007, 第 2 章第 3 节和第 3 章第 1 节.

审查员 崔皓

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2006. 01)

G06K 9/60 (2006. 01)

G06F 17/50 (2006. 01)

G01B 11/00 (2006. 01)

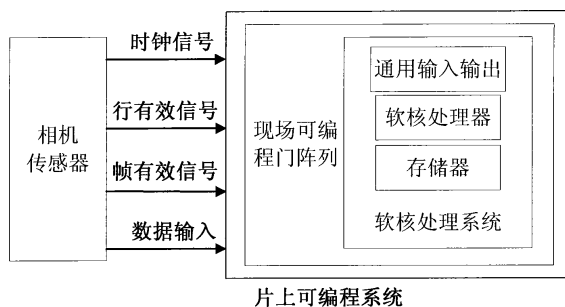
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种结构光焊缝图像特征点快速提取方法

(57) 摘要

本发明涉及结构光视觉检测技术,具体是一种结构光焊缝图像特征点快速提取方法。它将现场可编程门阵列和软核处理系统并用以提高处理速度和降低功耗,对结构光焊缝图像特征点快速提取任务进行软硬件的划分,从而通过软硬件协同操作完成特征点的提取;具体是:构建一个片上可编程系统,通过现场可编程门阵列,对相机传感器获取的包含结构光条纹的图像进行滤波、图像增强、膨胀和腐蚀的数学形态学处理、边缘提取以及中心线提取的图像预处理过程;再通过软核处理系统进行特征点提取。本发明各步骤之间以流水线的方式工作,能提高图像处理的速度,满足焊缝跟踪的实时性要求,可广泛应用于激光自动焊接领域。



1. 一种结构光焊缝图像特征点快速提取方法,其特征在于:将现场可编程门阵列(FPGA)和软核处理系统并用以提高处理速度和降低功耗,对结构光焊缝图像特征点快速提取任务进行软硬件的划分,从而通过硬件协同操作完成特征点的提取;具体是:构建一个片上可编程系统(SOPC),通过现场可编程门阵列(FPGA),对相机传感器获取的包含结构光条纹的图像进行滤波、图像增强、膨胀和腐蚀的数学形态学处理、边缘提取以及中心线提取的图像预处理过程;再通过软核处理系统进行特征点提取;

所述图像预处理包括以下步骤:

1) 图像获取:通过相机传感器获取包含结构光条纹的图像,并送入片上可编程系统(SOPC)中;

2) 滤波:对步骤1获取的图像进行中值滤波;

3) 图像增强:根据焊缝结构光图像特征选择阈值进行二值化,将结构光条纹从图像背景中提取出来;

4) 数学形态学运算:选择结构光条纹垂直方向的结构元素,来对图像进行膨胀和腐蚀处理;

5) 边缘提取:通过模板运算提取单像素的结构光条纹边缘,同时滤除小于模板大小的噪声;

6) 中心线提取:逐行扫描边缘图像,分别记录两个边缘像素位置的列坐标,经相加后除以2,结果为中心线列坐标,同时记录行坐标,送入软核处理系统进行特征点提取;

所述特征点提取是在软核处理系统中用最小二乘法拟合直线,并根据直线判断特征点的位置过程;

步骤1)所述片上可编程系统(SOPC)采用支持嵌入式软核处理系统的现场可编程门阵列(FPGA)系列产品,所述软核处理系统为MicroBlazeo。

2. 根据权利要求1所述的结构光焊缝图像特征点快速提取方法,其特征在于:所述图像预处理中步骤2),3),4),5),6)和所述特征点提取步骤以流水线的方式执行,执行时间取决于其中耗时最长的步骤,而不是所有步骤的时间之和。

一种结构光焊缝图像特征点快速提取方法

技术领域

[0001] 本发明属于机器视觉领域,涉及了结构光视觉检测技术;具体地说是一种基于片上可编程系统(SOPC)的结构光焊缝图像特征点快速提取方法。

背景技术

[0002] 结构光视觉检测技术可以实现智能化、快速和低成本图像采集和特征识别。这一方法主要是将结构光投射于工件表面,通过视觉传感器采集结构光条纹图像,并经过图像处理提取出焊缝条纹特征信息,从而实现焊缝位置识别和质量检测。

[0003] 但是由于结构光焊缝图像处理的复杂性,导致焊缝识别和检测应用在焊缝跟踪和质量检测的实时性很差,跟踪滞后很严重,检测也很难完成在线实时的质量检测。因此寻找一种快速而又准确的进行焊缝位置识别和质量检测的方法是亟待解决的问题。

发明内容

[0004] 为了克服目前结构光焊缝图像处理速度不能满足实时处理的不足,本发明提出了一种能实现跟踪实时性好且快速、准确之目的基于片上可编程系统的结构光焊缝图像特征点快速提取方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0006] 将现场可编程门阵列和软核处理系统并用以提高处理速度和降低功耗,对结构光焊缝图像特征点快速提取任务进行软硬件的划分,从而通过软硬件协同操作完成特征点的提取;具体是:构建一个片上可编程系统,通过现场可编程门阵列,对相机传感器获取的包含结构光条纹的图像进行滤波、图像增强、膨胀和腐蚀的数学形态学处理、边缘提取以及中心线提取的图像预处理过程;再通过软核处理系统进行特征点提取;

[0007] 所述图像预处理包括以下步骤:

[0008] 1) 图像获取:通过相机传感器获取包含结构光条纹的图像,并送入片上可编程系统中;

[0009] 2) 滤波:对步骤1获取的图像进行中值滤波;

[0010] 3) 图像增强:根据焊缝结构光图像特征选择阈值进行二值化,将结构光条纹从图像背景中提取出来;

[0011] 4) 数学形态学运算:选择结构光条纹垂直方向的结构元素,来对图像进行膨胀和腐蚀处理;

[0012] 5) 边缘提取:通过模板运算提取单像素的结构光条纹边缘,同时滤除小于模板大小的噪声;

[0013] 6) 中心线提取:逐行扫描边缘图像,分别记录两个边缘像素位置的列坐标,经相加后除以2,结果为中心线列坐标,同时记录行坐标,送入软核处理系统进行特征点提取;

[0014] 所述特征点提取是在软核处理系统中用最小二乘法拟合直线,并根据直线判断特征点的位置过程;

[0015] 其中：步骤 1) 所述片上可编程系统采用支持嵌入式软核处理系统的现场可编程门阵列系列产品，所用软核处理系统为 MicroBlaze；所述图像预处理中步骤 2)、3)、4)、5)、6) 以及特征点提取步骤以流水线的方式执行，执行时间取决于其中耗时最长的步骤，而不是所有步骤的时间和。

[0016] 本发明具有如下优点：

[0017] 1. 本发明构建一个片上可编程系统，通过软硬件协同处理，可以快速而又准确的提取出结构光焊缝条纹的特征点。由于包括滤波、图像增强、膨胀和腐蚀的数学形态学处理、边缘提取以及中心线提取在内的图像预处理过程算法简单、功耗低，因此采用硬件现场可编程门阵列 FPGA 实现；而各种情况的特征点提取过程，特征点选取原则依算法而定，具有一定的特定性，实现过程属于小批量处理，因此本发明采用嵌入式软核处理系统 MicroBlaze 实现；依据上述硬件和软核处理系统并用以提高处理速度和降低功耗的原则对完成的任务进行软硬件的划分，从而完成软硬件协同操作完成特征点的提取功能。

[0018] 2. 本发明基于片上可编程系统的结构光焊缝图像特征点快速提取方法，能满足焊缝跟踪系统对实时性的要求，结构简单，具有可重构性。

附图说明

[0019] 图 1 是实现本发明的片上可编程系统的结构组成图。

[0020] 图 2 是本发明基于片上可编程系统实现结构光焊缝图像特征点快速提取方法的实现过程。

[0021] 图 3 是 3×3 模板中值滤波在现场可编程门阵列硬件上的实现原理。

[0022] 图 4a 是相机传感器采集的原始图像（说明：白色亮条纹为结构光图像，由于采集图像进行了只允许结构光波长通过的滤光处理，因此焊缝板材为黑色图像）。

[0023] 图 4b 是本发明中心线和特征点提取效果图（说明：白色轮廓线为边缘提取处理得到的结构光条纹边缘，轮廓中间的线条为提取的中心线，十字叉为提取的焊缝起始位置特征点）。

具体实施方式

[0024] 为了更好的理解本发明方法，下面结合附图和实施例来进行更进一步的说明。

[0025] 本发明基于 SOPC 的结构光焊缝图像特征点快速提取方法，是将片上可编程系统 SOPC 与图像采集的相机传感器相连，并对相机传感器采集的图像进行后续图像处理实现的。相机传感器与片上可编程系统 SOPC 通过“时钟信号”、“行有效信号”、“帧有效信号”、“数据输入信号”相连。其中本发明中涉及的片上可编程系统 SOPC 主要由现场可编程门阵列 FPGA 硬件及嵌入式运行的 32 位 MicroBlaze 软核处理系统构成，图 1 为结构组成图，从而实现软硬件协同处理，提高图像处理的速度。

[0026] 图 2 为基于片上可编程系统 SOPC 实现的结构光焊缝图像特征点快速提取方法的实现过程，本发明构建一个片上可编程系统 SOPC，通过现场可编程门阵列 FPGA，对相机传感器获取的包含结构光条纹的图像进行滤波、图像增强、膨胀和腐蚀的数学形态学处理、边缘提取以及中心线提取的图像预处理过程；再通过软核处理系统进行特征点提取。具体实现步骤如下：

[0027] 1) 图像获取 : 相机传感器 (本实施例采用 CMOS, 还可以采用 CCD) 获取包含结构光条纹的图像, 当相机传感器 “ 帧有效信号 ” 输出有效, 那么现场可编程门阵列 FPGA 按照 “ 时钟信号 ”, 读取 “ 数据输入 ”, 放入先入先出缓存 FIFO 中, 然后进行后续的数据处理。

[0028] 2) 滤波 : 对步骤 1) 获取的图像进行中值滤波。在图像生成、采集和传输过程中, 不可避免的会引入各种噪声使图像质量变差。因此需要对图像进行平滑滤波来抑制噪声, 以利于后续处理。这里本发明通过对所截取窗口中像素进行排序, 用排序所得的中值来代替窗口中心像素的值。一般是选择 $N \times N$ 的模板, 通过 N 个先入先出缓存 FIFO 缓存 N 行数据, 然后并行进入现场可编程门阵列 FPGA 的中值滤波功能模块完成平滑处理。

[0029] 本实施例选择 3×3 的模板, 通过三个先进先出缓存 FIFO (先进先出缓存

1024×8bits) 缓存 3 行数据, 如 :
$$\begin{pmatrix} a_{\text{大}} & a_{\text{中}} & a_{\text{小}} \\ b_{\text{中}} & b_{\text{大}} & b_{\text{小}} \\ c_{\text{小}} & c_{\text{大}} & c_{\text{中}} \end{pmatrix}$$
, 然后每行数据分别经过三个 8 位寄存器,

送入中值滤波功能模块, 即并行进入中值滤波的排序模块完成图像的平滑处理。其中三层三值排序模块处理流程如下 : 其中第一层排序模块 001、002、003 对输入的三行数据值进行排序, 并分别将比较得到的 a 大、a 中、a 小 (或 b 大、b 中、b 小或 c 大、c 中、c 小) 按照各自的大小关系分别送到第二层三值排序模块, 其中最大值比较模块 010 中给出三者排序的最小值, 中间值比较模块 020 中给出三者排序的中间值, 最小值比较模块 030 中给出三者排序的最大值, 最后经过第三层三值排序模块 100 得到中间值的输出结果, 送给后续处理模块进行处理。图 3 表示 3×3 模板中值滤波在 FGPA 硬件上的实现原理。

[0030] 3) 图像增强 : 根据焊缝结构光图像特征选择阈值进行二值化, 将结构光条纹从图像背景中提取出来。具体指 : 对一幅图像进行加工, 突出图像中的某些信息, 削弱或除去某些不需要的信息, 以得到对具体应用来说视觉效果更好、更有用的图像。由于结构光条纹图像与背景图像对比较明显, 因此采用二值化来对图像进行处理, 可以突出结构光条纹, 以利于后续处理。

[0031] 4) 数学形态学运算 : 由于噪声的影响, 图像在二值化以后所得到的边界通常很不平滑, 结构光条纹边缘会形成一些噪声孔, 同时由于图像在高速采集时会使结构光条纹出现断点, 这些都会影响后续基于模板的边缘提取效果。数学形态学的膨胀和腐蚀方法可以很好的消除条纹图像的断点、噪声孔, 平滑其边界, 对于经过步骤 1) 到步骤 3) 处理后的结构光条纹图像具有很好的适用性, 因此, 本发明通过采用数学形态学的膨胀和腐蚀进行后续的平滑处理。

[0032] 在进行形态学运算时需要根据目标图像即结构光条纹的特点选择不同的结构元素。在本发明涉及结构光条纹是直线光条纹, 条纹图像之间结构简单, 选择竖直方向的结构元素, 同时该结构元素对条纹横截面大小影响很小。在可编程门阵列 FPGA 中, 采用 3×1 的模板来对图像进行膨胀和腐蚀。具体是 : 首先通过先入先出缓存 FIFO 缓存三行图像数据, 然后同时读取三行数据的同一列进入模板进行膨胀操作, 腐蚀操作类似于膨胀操作。其中, 图像数据的缓存和 3×1 模板的实现可以参见图 3 中值滤波功能的数据存取过程。

[0033] 5) 边缘提取 : 根据结构光条纹的直线型结构特点采用基于 1×3 模板的单像素边缘提取方法。首先读取每行的图像数据并送入 1×3 模板进行处理, 将模板中数据元素从左到右依次标记为 1、m、n。如果 m 为 255 并且 1 与 n 不相等, 则认定 m 为边缘像素, 输出为

255, 否则输出为 0。该模块除了完成边缘提取功能外, 对较小的噪声干扰也有一定的去除作用。边缘提取的效果图见图 4b。

[0034] 6) 中心线提取: 逐行扫描边缘图像, 分别记录两个边缘像素位置的列坐标, 经相加后除以 2, 结果为中心线列坐标, 同时记录行坐标, 然后在“行有效信号”控制下通过通用输入输出模块送入 MicroBlaze 软核处理系统进行步骤 7) 的特征点提取。中心线提取效果图见图 4b。

[0035] 7) 特征点提取: 步骤 6) 得到的中心线从上下两端分别选取 N 个点通过最小二乘法拟合出两条式 (1) 和式 (2) 直线, 对式 (1) 直线, 从步骤 6) 所述中心线上端开始代入点列坐标值, 计算出横坐标值, 并与实际的横坐标值比较, 相差大于一个给定值 ε , 则标记该点, 若从某点开始连续出现十个标记点, 则判定该点为焊缝特征点; 同样可以对式 (2) 直线进行相同操作, 找出结构光焊缝图像的另一个特征点。

[0036] 本实施例对中心线从上下两端分别选取 50 个点 ($N = 50$) 通过最小二乘法拟合出式 (1) 和式 (2) 两条直线, 设直线方程分别为:

$$[0037] \quad y = a_1x + b_1 \quad (1)$$

$$[0038] \quad y = a_2x + b_2 \quad (2)$$

[0039] 式 (1) 和式 (2) 两条直线方程的系数 a_1 、 b_1 和 a_2 、 b_2 根据式 (3)、(4) 计算出:

$$[0040] \quad a_i = \frac{\sum x_i y_i \sum x_i - \sum y_i \sum x_i^2}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

$$[0041] \quad b_i = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} \quad (i = 1, 2) \quad (4)$$

[0042] 对式 (1) 直线, 从中心线上端开始代入点列坐标值, 计算出横坐标值, 并与实际的横坐标值比较, 相差大于一个给定值 ε , 则标记该点, 若从某点开始连续出现十个标记点, 则判定该点为特征点; 同样可以对式 (2) 直线进行相同操作, 找出结构光焊缝图像的另一个特征点。图 4b 中标号十字叉的位置为两个特征点。

[0043] 本发明所述步骤 2)、3)、4)、5)、6) 全部采用硬件描述语言 (VHDL) 来完成设计; 步骤 7) 通过嵌入的 Microblaze 软核处理系统来完成。步骤 2)、3)、4)、5)、6)、7) 以流水线的方式执行, 执行时间取决于其中耗时最长的步骤, 而不是所有步骤的时间和, 使特征点提取速度大大提高。

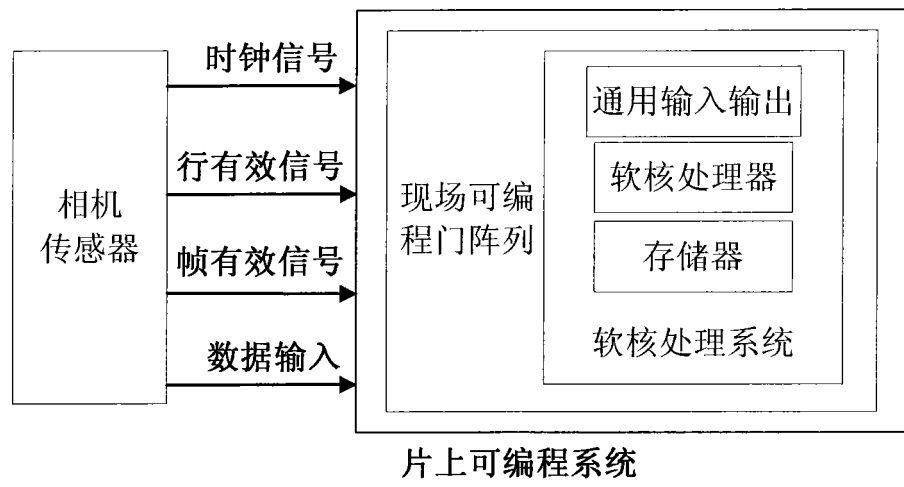


图 1

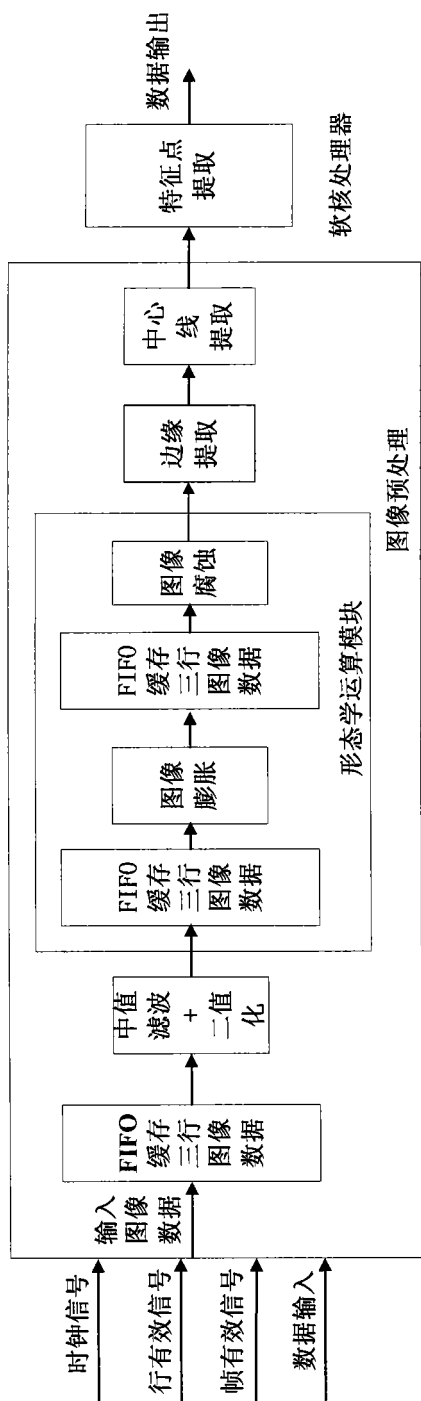


图 2

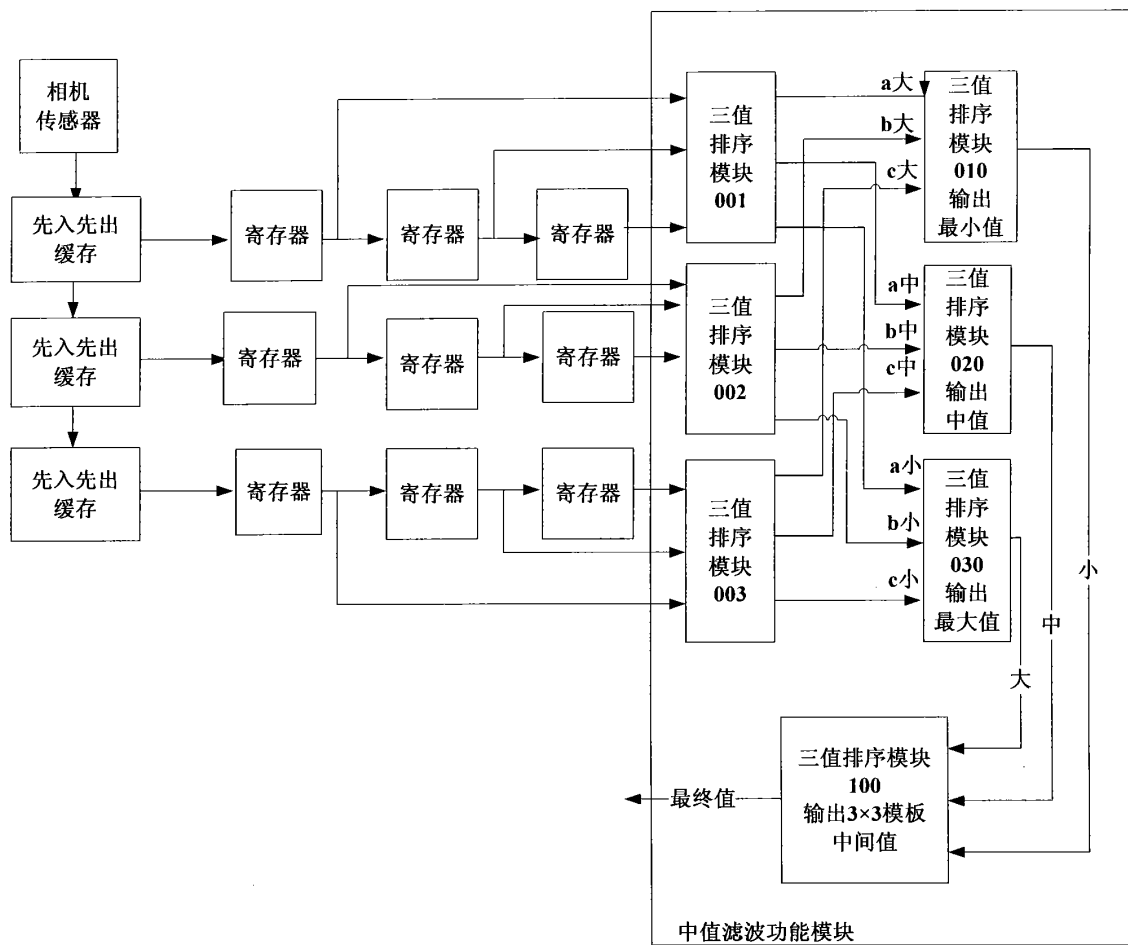


图 3

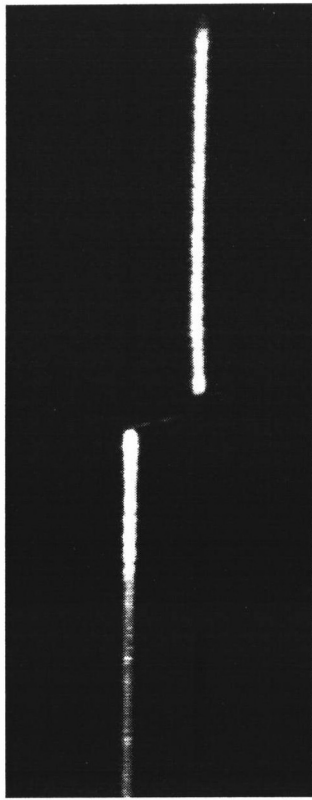


图 4a

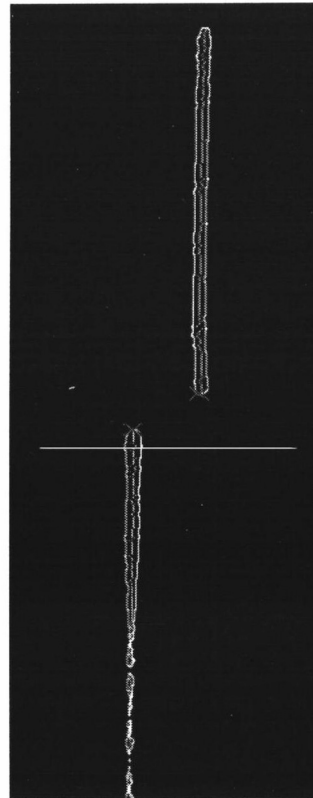


图 4b