

# 基于小波分析实现图像重心位移的检测

方舟, 张君安

(西安工业学院 机电工程学院, 陕西 西安 710032)

**摘要:**提出一种基于数字图像处理的图像特征识别和确定图像特征区域重心位移的方法,该方法是对安装在气浮滑板上的 CCD 摄像机在平面上运动的过程中取得的图像序列进行数字化处理。利用 B 样条双正交小波提取图像特征区域的边缘,通过确定图像特征区域的特征量和利用重心定位技术,从而提高了图像特征的识别和定位能力。由相邻帧图像中特征区域的重心的位置变化,准确地获得气浮滑板的动态位置信息,实现三坐标测量机的低成本化,小型化,具有广阔的应用前景。

**关键词:**特征识别;图像重心;B 样条小波

**中图分类号:**TP391.4 O235 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)06-0068-04

在对三坐标测量机的改进当中,图像特征识别和重心的确定是三坐标测量机改进的重要组成部分,通过安装在气浮滑板上的 CCD 摄像机取得运动过程中的图像序列,对每一帧图像进行预处理后,运用边缘提取和重心测定技术确定相邻帧图像的特征区域重心的变化,可以得到特征区域在相邻帧图像中的位移信息。边缘是图像处理中的重要信息之一,然而边缘检测又是图像处理中一个困难的问题,因为实际图像信号存在噪声。噪声和边缘一样都属于高频信号,普通的处理方法对于陡然变化的信号处理能力不强。因此,本文提出一种基于小波分析实现图像重心位移检测的方法。

## 1 图像的获取和预处理

获取气浮滑板的位移信息是通过对 CCD 摄像机得到的图像序列逐帧处理的结果。因此在处理之前需要对每一帧图像进行预处理。图像在采集、量化、传送过程中产生的噪声会污损图像,影响数据处理的精度。实践证明,采用直方图均衡化增强和中值滤波<sup>[1]</sup>的方法非常有效。直方图均衡化增强了图像的清晰度,中值滤波有效地抑制了图像中的噪声又保持了轮廓的清晰度。由 CCD 摄像机拍摄的图像是具有多个灰度的,为了减少处理的复杂度就需要对图像进行二值化处理。灰度图像二值化<sup>[2]</sup>后,能够更有效的突出图像的特征区域。

## 2 小波变换的边缘提取

通常图像特征局部的不连续称为“边缘”。就灰度突变性而言,图像的边缘一般分为两大类,一类是阶跃状边缘,其特征是边缘两边象素的灰度值有显著的不同;另一类是屋顶状边缘,其特点是它位于灰度值由增加到减小的变化转折点。在阶跃边缘点,图像灰度在它两旁的变化规律是灰度变化曲线的一阶导数在该点达到极值,二阶导数在该点近旁呈零交叉,即其左右分别为一正一负两个峰;对于屋顶状边缘的边缘点,其灰度变化曲线的一阶导数在该点近旁呈零交叉,二阶导数在该点达到极值。

在边缘提取<sup>[3]</sup>中,一般取小波函数  $\Psi^1(x,y) = \frac{\partial\theta(x,y)}{\partial x}$  和  $\Psi^2(x,y) = \frac{\partial\theta(x,y)}{\partial y}$ 。其中  $\theta(x,y)$  为平滑函

收稿日期:2004-06-25

基金项目:陕西省教育厅产业化培育项目(04JC11)

作者简介:方舟(1976-),男,山东掖县人,硕士生,主要从事精密与超精密加工与测量研究;

张君安(1956-),男,山东淄博人,教授,主要从事精密与超精密加工与测量研究。

数,满足  $\iint_{R^2} \theta(x,y) dx dy = 1$ , 且  $\theta(x,y) \geq 0$ , 显然其为低通滤波器:

$$\begin{cases} W_{2j}^1 f(x,y) = f \times \Psi_{2j}^1(x,y) = 2^j \frac{\partial(f \times \theta_{2j}(x,y))}{\partial x} \\ W_{2j}^2 f(x,y) = f \times \Psi_{2j}^2(x,y) = 2^j \frac{\partial(f \times \theta_{2j}(x,y))}{\partial y} \end{cases} \quad (1)$$

$W_{2j}^1 f(x,y)$  和  $W_{2j}^2 f(x,y)$  是信号  $f(x,y)$  被  $\theta_{2j}(x,y)$  平滑后沿  $x,y$  方向的偏导数,其矢量就是梯度。若  $\theta(x,y)$  取作 Gauss 函数,它与 Canny 算子在同一尺度下是等价的。设  $M_{2j} = \sqrt{(W_{2j}^1 f(x,y))^2 + (W_{2j}^2 f(x,y))^2}$ ,  $A_{2j} = \arctg\left(\frac{W_{2j}^1}{W_{2j}^2}\right)$ , 则点集  $X = \{(x,y) : |M_{2j} f(x,y)| \neq 0\}$  是  $f \times \theta_{2j}(x,y)$  中具有灰度变化的点的集合。 $M_{2j}$  的大小反映  $f \times \theta(x,y)$  在点  $(x,y)$  的灰度变化的剧烈程度,完全刻画了  $f \times \theta(x,y)$  灰度变化的特征。 $M_{2j} f(x,y)$  在  $A_{2j}$  方向取极大值的点对应  $f(x,y)$  的突变点,在图像中对应特征区域的边缘,因此该特性可用于图像的边缘检测。

小波的选取<sup>[4]</sup>对于边缘检测有重要的意义,文中采用 B 样条小波构造与实现算法。以 B 样条为基底的样条空间构成了信号或图像空间的多尺度或多分辨率逼近。对不同分辨率下的逼近信号或逼近图像求一次或二次导数,然后分别作极值或零交叉检测即构成了多尺度 B 样条小波边缘检测算子<sup>[5]</sup>。此外 B 样条函数具有非常好的局部特性,可以很方便地控制样条曲线的零交叉点及形状等。

以  $m$  阶基数 B 样条函数  $N_m$  作为尺度函数  $\varphi(x)$ , 其傅立叶变换为  $\Phi(\omega)$ :

$$N_m(t) = N_1(t) * N_{m-1}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} N_1(\tau) N_{m-1}(t-\tau) d\tau = \int_0^1 (\tau) N_{m-1}(t-\tau) d\tau \quad (2)$$

$N_{m-1}(t)$  具有  $(m-2)$  阶连续导数,但其  $m-1$  阶导数不连续,随着  $m$  增大,相应的  $N_m(t)$  越来越光滑,因此可根据实际情况来选取适当的  $m$  值。经 Fourier 变换得:

$$\Phi(\omega) = N_m(\omega) = \left( \frac{1 - e^{-i\omega}}{i\omega} \right) = e^{-i\omega/2} \left[ \frac{\sin(\omega/2)}{(\omega/2)} \right]^m \quad (3)$$

由于紧支撑的正交小波<sup>[6]</sup>(除 Haar 小波外)都不是对称的或反对称的。不具有线性相位或非线性相位,不能避免失真。本文中构造的紧支撑双正交小波滤波器<sup>[6]</sup>是对称的,具有线性相位。其中  $H_0(z), H_1(z)$  是分解用的低通和高通滤波器,  $G_0(z), G_1(z)$  是合成用的低通和高通滤波器,如图 1 所示。

当  $m=3$  时有:  $\Phi(\omega) = e^{-i\omega/2} \left[ \frac{\sin(\omega/2)}{(\omega/2)} \right]^3$ , 由两尺度关系  $H_0(\omega) = \frac{\Phi(2\omega)}{\Phi(\omega)}$ , 可得  $H_0(\omega) = e^{-i\omega/2} \cos^3(\omega/2)$ , 且  $G_0(z) = H_1(-z), G_1(z) = -H_0(-z)$ 。可以解得  $H_0(z), H_1(z), G_0(z), G_1(z)$  分别为

$$\begin{cases} H_0(\omega) = (1 + 3z^{-1} + 3z^{-2} + z^{-3})/4 \\ H_1(\omega) = (-1 - 3z^{-1} + 3z^{-2} + z^{-3})/4 \\ G_0(\omega) = (-1 + 3z^{-1} + 3z^{-2} - z^{-3})/4 \\ G_1(\omega) = (-1 + 3z^{-1} - 3z^{-2} + z^{-3})/4 \end{cases} \quad (4)$$

本文提出的轮廓提取的思想是:先对图像整体扫描,在扫描的同时利用事先约定好的临域规则进行处理,常用的临域规则有 4 临域和 8 临域。实现的算法是:如果任意像素的 4 或 8 临域上的点都是黑点或者都是白点,则这个像素是背景或是特征区域,否则是轮廓边界上的点,保存该点在数组中。然后再对此数组进行扫描,从而区分开不同区域的轮廓。

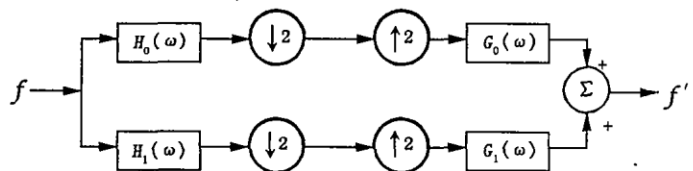


图1 数字图像信号分解与合成器组图

### 3 重心的确定

重心确定<sup>[8]</sup>是现代图像处理技术用于位置检测的主要算法之一。目前的水平已将重心算法的精度和

灵敏度提高到比一个像素更小的尺度,在这里直接采用现有的重心计算公式。待识别对象的二维重心位置由下列公式计算:

$$x_c = \frac{\sum_{y=y_c}^{y_c} \sum_{x=x_c}^{x_c} xg(x,y)}{\sum_{y=y_c}^{y_c} \sum_{x=x_c}^{x_c} g(x,y)}, y_c = \frac{\sum_{y=y_c}^{y_c} \sum_{x=x_c}^{x_c} yg(x,y)}{\sum_{y=y_c}^{y_c} \sum_{x=x_c}^{x_c} g(x,y)} \quad (5)$$

其中,  $g(x,y) = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \text{特征区域} \\ 0 & (x,y) \in \text{背景} \end{cases}$  是二值图像,  $(x,y)$  是图像中像素的坐标。

#### 4 边缘特征量的提取

本文将采用变换域中的小波分析和傅立叶变换的方法,对图像的特征区域的边缘提取特征。本文中将在数组中存储的图像特征区域的边缘转化为向量表示  $v_k = x_k + iy_k$ ,由重心确定步骤确定的特征区域的重心坐标,将特征区域边缘上点的绝对坐标转化为相对于特征区域中心的绝对距离及一维的数字信号  $u_k$ 。分别提取边缘的傅立叶描述符和小波熵。其小波熵为

$$Entropy = \frac{\sum_m \sum_n u_k^2 \log(u_k^2)}{M \times N} \quad (6)$$

其中,  $M \times N$  为图像特征区域的大小,  $m$  和  $n$  分别指示图像的行和列,  $u_k$  为各阶小波变换的小波系数。

显然原图像中的特征区域的选取和匹配图像中的特征区域的匹配范围的确定有重要意义。选择合适的范围对于图像匹配的运算速度有明显改善。可以通过在原图像中设置一个数字化的取景框,将全部或部分落入取景框中的区域作为特征区域。由于本试验旨在验证图像特征识别和重心确定的可行性,所以选择整幅图像为取景范围,但在实际中选择合适的取景范围有着实际价值。

当提取出图像特征后,需要对特征间的距离进行量度。为了便于比较,本文采用一种归一化的距离计算方法,设有两个  $J$  维特征量  $x_1$  和  $x_2$  则其归一化距离为

$$D = \frac{\sum_{j=1}^J |x_{1j} - x_{2j}|}{\sum_{j=1}^J \max(x_{1j}, x_{2j})} \quad (7)$$

#### 5 轮廓提取及实验结果

作为实验室研究,利用 CCD 摄像机分别获取位移前后的两幅灰度图像。原图和匹配图以及它们经过预处理的结果如图(2)所示,实验数据如表 1 所示。在实验中将特征分为两级,第一级为傅立叶描述符,第二级为小波熵。设定一个适当的小波熵的阈值,如果第一级傅立叶描述符没有能够区分,再进入第二级小波熵进行匹配,从而构成决策树<sup>[10]</sup>。当第一级匹配

表 1 小波熵值比较实验结果

匹配图	原图				
	1	2	3	4	5
1	0.020 7	0.078 4	0.031 4	0.369 9	0.069 2
2	0.218 7	0.122 2	0.154 3	0.487 6	0.181 1
3	0.076 0	0.107 9	0.054 1	0.413 3	0.075 3
4	0.524 0	0.558 3	0.549 2	0.176 7	0.560 7
5	0.045 0	0.092 9	0.048 6	0.380 5	0.018 5

成功或者是不满足第一级匹配而满足第二级匹配时,则认为匹配是成功的。

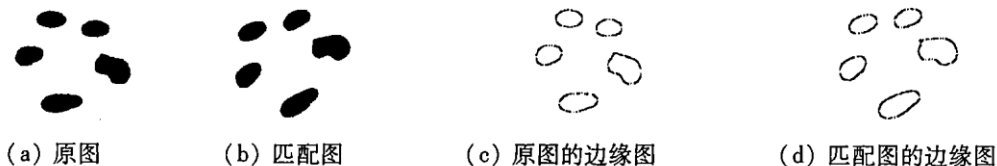


图 2 图像及预处理结果

## 6 结论

1) 本文所采用的 B 样条双正交小波提取图像边缘的方法在边缘定位的准确性和边缘的连续性方面都要优于采用各种微分算子对图像边缘的提取,这使得后期的图像分割精确度及图像识别的准确性大大提高。由试验数据可见采用傅立叶描述符和小波熵相结合的特征区域识别的方法具有较高的准确率,能够实现原图和匹配图的一对一匹配,经验证,匹配结果正确,有一定的应用前景。

2) 区域增长是图像分割的经典算法,但是它的计算量惊人。本文所论述的轮廓提取只需扫描一次原图像和扫描一次由此生成的数组,因此速度上具有一定的优势。

3) 只要分别计算出位移前后特征区域的重心坐标,就可以计算出 CCD 在工作台上的位移量。

4) 在实际应用中发现尽管利用本文提出的匹配方法具有较高的识别率,但是还是有发生错配的可能,所以研究有更高匹配率的算法是将来的发展方向。

### 参考文献:

- [1] 李刚,范瑞霞.一种改进的图像中值滤波算法[J].北京理工大学学报,2002,22(3):376-378.
- [2] 吴冰,秦志远.自动确定图像二值化最佳阈值的新方法[J].测绘学院学报,2001,18(4):283-285.
- [3] Keita Alpha,彭嘉雄.小波多尺度方法用于边缘检测[J].华中科技大学学报,2001,29(5):74-76.
- [4] 胡敏,陈强洪.多尺度分析方法中四种典型小波基的选择与比较[J].微机发展,2002,(3):41-43.
- [5] 常辉,胡荣强.基于 B 样条小波的图像边缘检测[J].武汉理工大学学报.(信息与管理工程版),2002,24(3):31-33.
- [6] 刘曙光,朱少平.B 样条正交小波的构造[J].纺织高校基础科学学报,2001,14(2):147-149.
- [7] 张德干,高光来.通用双正交小波构造方法的研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),1999,30(5):662-664.
- [8] 宋克欧,黄凤岗.二值图像目标质心快速搜索跟踪算法[J].模式识别与人工智能,1998,11(2):161-162.
- [9] 陈群,王全道.基于小波包分析的探地雷达信号处理[J].计算机应用与软件,2003,(10):3-7.
- [10] 姚家奕,姜海,王秦.决策树算法的系统实现与修剪优化[J].计算机工程与设计,2002,23(8):75-77.

(编辑:田新华)

## Inspection of Displacement of Barycenter by Wavelet Analysis

FANG Zhou, ZHANG Jun-an

(School of Mech & Elect Engr, Xi'an Inst of Tech, Xi'an, shaanxi 710032, China)

**Abstract:** This paper develops a new kind of method to measure the shape feature and displacement of barycenter. A CCD camera is fixed on the air-bearing module to collect visual signal. Through calculation each frame's characteristic area by using B-spline wavelet transform to obtain edge and eigenvalue by technology of orientation and construct a kind of B-spline wavelet, the capability of identification of character is improved and the position of barycenter of each region is detected. In the paper, constructing compact support scale functions with linear phase, and corresponding compact support biorthogonal wavelets by means of B-spline.

**Key words:** barycenter; B-spline wavelet; feature identification