

X 射线数字纹理图像的特征提取*

孔凡琴^{1,2} 路宏年¹

(1 北京航空航天大学现代 NDT 中心, 北京 100083)

(2 山东轻工业学院, 济南 250100)

摘 要 以减少图像背景和结构纹理对特征提取的干扰为目的, 提出了先去除背景和纹理, 再进行特征分析的算法. 该算法通过最小二乘法拟合了类抛物线曲面函数提取数字射线图像的背景, 减少了背景对图像特征的模糊, 在此基础上, 针对图像的结构纹理特点确定几何分布参量, 定义减法运算公式消隐图像纹理, 减少了纹理造成的图像灰度起伏, 图像灰度级分布均匀. 在平坦的图像背景中, 根据数字射线图像信号点服从正态分布规律特点, 设定阈值进行特征分割.

关键词 最小二乘法; 曲面函数; 纹理; 正态分布; 阈值分割

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

0 引言

获取 X 射线图像的目的是分析图像中的特征, 在工业的 X 射线检测中, 特征即是指工件中的缺陷, 正确分割缺陷, 是保障后续的缺陷位置、尺寸测定以及分类准确度的关键. 关于特征分割, 无论是五种经典的方法还是近几年出现的新方法, 都是直接围绕阈值分割算法展开, 算法的核心是对给定的原始图像, 研究阈值选取和提高阈值准确度^[1~5].

本文则根据 X 射线图像的特点, 提出了一种先提取原始图像背景, 再针对工件的几何特点进行纹理处理, 最后针对图像灰度分布规律, 确定阈值进行特征分割. 本算法考虑了工业 X 射线图像, 在成像过程中由于受到散射等各种因素的影响, 在系统终端获取的目标图像往往存在着一定的低频背景, 并且背景与特征的灰度值发生交叉, 显然仅仅运用阈值分割提取缺陷往往达不到好的效果; 另外被成像试件的特殊结构往往使得目标图像呈现一定的纹理分布, 它们导致的灰度级起伏也会干扰对特征的分割. 所以采取了先“净化”了自变量, 排除干扰, 后分割的方法, 不仅提高了后续阈值分割的准确度, 还简化了算法.

1 运用最小二乘法拟合图像的类抛物线背景曲面函数

定义数字图像 A, 大小为 $h \times w$ (h, w 分别为图像的高度值和宽度值), 将图像分成若干个 $(m+1) \times (n+1)$ 的窗口 ($m+1 = \frac{h}{16}$ 的整数部分, $n+1 = \frac{w}{16}$

的整数部分), 用一个三维直角坐标系 $u-OXY$ 中的坐标点 (x_i, y_j, u_{ij}) 来标识窗口内的像素点, x_i 为像素行坐标, y_j 为列坐标, u_{ij} 为像素灰度值. 其中: $i = 0, 1, \dots, m; j = 0, 1, \dots, n; a = x_0 < x_1 < \dots < x_m = b; c = y_0 < y_1 < \dots < y_n = 0$. 定义 $M+1$ 个 x 的幂函数 $\{\varphi_r(x) = x^r, r = 0, 1, \dots, M\}$ ($M < m$), $N+1$ 个 y 的幂函数 $\{\varphi_s(y) = y^s, s = 0, 1, \dots, N\}$ ($N < n$). 这两个幂函数在区间 $[a, b], [c, d]$ 上连续并且在点集 $\{x_i, i = 0, 1, \dots, m\}$ 和点集 $\{y_j, j = 0, 1, \dots, n\}$ 上线性无关, 所以能够用它们的乘积函数作为按最小二乘原则拟合的基函数, 构成以系数 $\{c_r, r = 0, 1, \dots, M, s = 0, 1, \dots, N\}$ 为参量的曲面函数族 $p(x, y)$

$$p(x, y) = \sum_{s=0}^N \sum_{r=0}^M c_{rs} x^r y^s \quad (1)$$

令 $B = [x_i^r]_{(m+1) \times (M+1)}, G = [y_j^s]_{(n+1) \times (N+1)}, U = [\mu_{ij}]_{(m+1) \times (n+1)}$, 按式(2)的原则可

$$\sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^m [\sum_{s=0}^N \sum_{r=0}^M c_{rs}^* x_i^r y_j^s - u_{ij}]^2 = \min \quad (2)$$

得拟合曲面函数 $p^*(x, y)$ 的系数 c_{rs}^* 的矩阵表达式为^[6]

$$C = (B^T B)^{-1} B^T U G (G^T G)^{-1} \quad (3)$$

将 C 中的值代入到曲面函数式(1)便可得按最小二乘原则拟合的背景曲面函数.

按照拟合原理, r 和 s 取值越大, 拟合效果越好, 但算法运行速度会下降, 并且随着 r 和 s 的增大, 方程容易出现病态解, 所以数字灰度图像通常取 $r = 2, s = 2$, 则拟合的背景曲面函数为式(4)

$$p^*(x, y) = c_{00} + c_{10}x + c_{01}y + c_{20}x^2 + c_{11}xy + c_{02}y^2 + c_{12}xy^2 + c_{21}x^2y + c_{22}x^2y^2$$

即按类抛物线灰度分布来提取背景^[7,8].

在背景的背景分布函数的基础上, 按式(5)分离背景便可得到图像的特征信息, 使得图像特征突出, 便于后续的特征识别和分析.

* 航空科学基金: 基于 DR/CT 的涡轮叶片缺陷、损伤特征亚像素准确度测量方法, 项目编号(03C51079)资助
Tel: 010-81427194 Email: bluemiss@263.net
收稿日期: 2005-02-21

$$C(x, y) = A(x, y) - p^*(x, y) \quad (5)$$

2 基于纹理消隐和正态分布的阈值分割

对工件进行数字射线成像检测时,工件内部的特殊结构往往使其 DR 图像呈现出一定的纹理. 如:图 2 为发动机涡轮叶片的 DR 图像,图中规则的纵向纹理是由于叶片内部的进、排气管道结构引起的. 纹理会导致图像灰度级分布有较大的起伏,所以运用阈值分割进行特征提取时必须要以纹理为基础. 工业试件的纹理分布通常比较单一,不像医学生物体具有丰富的结构,所以本文提出了先消隐纹理后阈值分割的方法进行特征提取.

不同的工程研究对象具有不同的纹理分布,针对上述纵向纹理,定义式(6)以消隐纹理,减少它对特征提取的干扰

$$D(x, y) = C(x, y) - \gamma \times C(x - k_1 \times \text{tga}y - k_2 \text{tga}a) \quad (6)$$

γ 为系数因子, $0 < \gamma \leq 1$; k_1, k_2 为大于等于零的整数; $a = 0^\circ$ 或 45° , 根据具体的图像纹理走向分别取相应的值.

经过纹理消隐后,特征周围的灰度级变化基本平稳,从而可以简化阈值分割的复杂程度. 通常情况下,数字射线图像中的信号点是服从以 (μ, σ^2) 为参量的正态分布的,在应用中,可以通过观察图像的灰度分布直方图来确定数据是否可以假设为正态分布或近似正态分布. 图 1 为经过背景提取和纹理消

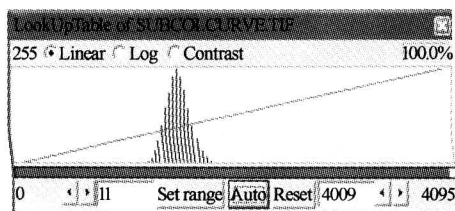


图 1 图 4 中图像的灰度分布直方图
Fig. 1 The gray histogram of the image in Fig. 4

隐后的图像灰度直方图(由自行开发软件自动生成),它基本满足正态分布密度曲线的性质^[9],所以可以把图像 D 的灰度分布假设为服从均值为 μ 的类正态分布. 据正态分布规律按式(7)设定阈值,进行特征分割

$$T = \mu + k\sigma$$

$$G(x, y) = \begin{cases} 0 & D(x, y) \leq T \\ 1 & D(x, y) > T \end{cases} \quad (7)$$

μ 为区域灰度均值, σ 为反映区域像素灰度变化的标准差, k 为系数因子,通常在 $0 \sim 2.5$ 之间取值.

在概率论中,遵从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 的随机变量,其值落在区间 $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$ 的取值概率约为 68.3%,

$[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$ 的概率大于 95%, $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 的概率大于 99.7%,也就是说 T 落在这个区间之外的概率小于 0.3%,在实际上被认为是不可能发生,所以 k 通常小于 3;但为了保证阈值分割边缘的有效性, k 的上限值通常要由具体的试验数据确定,如在 $h \times w = 18 \times 21$ 的有缺陷的局部图像中,经计算 $\mu = 427.1, \sigma = 589.2$,取阈值分割前图像中第 6 行的灰度值为 339, 326, 91, 130, 266, 366, 1993, 3312, 3059, 3051, 2363, 2057, 1189, 83, 418, 134, 195, 159, 391, 51, 534;按式(7)阈值分割后,当 $k = 2.5$,分割结果为 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1993, 3312, 3059, 3051, 2363, 2057, 1901, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0; $k = 2.6$,结果为 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1993, 3312, 3059, 3051, 2363, 2057, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0; $k = 3$,结果为 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3312, 3059, 3051, 2363, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0. 显然,当 $k > 2.5$ 时,边缘数据部分丢失,所以将 k 的上限设置为 2.5(其余数据不一列出).

3 工程实验

在以德国制造的 Y-XLON 射线机和美国 Varian 公司的面阵探测器 Paxscan2520 为主的成像系统上,获取的发动机涡轮叶片 DR 图像,如图 2 (截取部分图). 按式(4)和式(5)提取其背景后的图像见图 3,由于削弱了低频背景对图像的影响,缺陷特征开始突出,易于辨认. 按式(6)进行纹理消隐后的图像见图 4,纹理引起的灰度级跳变基本消除. 最后取 $k = 2.5$ 按式(7)进行阈值分割,提取的特征见图 5.

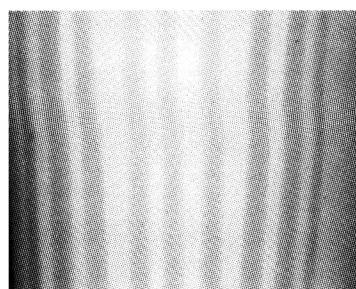


图 2 原始图像
Fig. 2 The original image

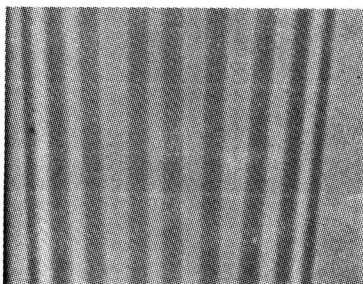


图 3 取背景后的图像
Fig. 3 Subtracted by the background

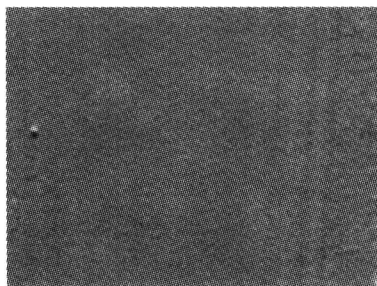


图4 纹理消隐后的图像

Fig. 4 After being processed by reducing the texture

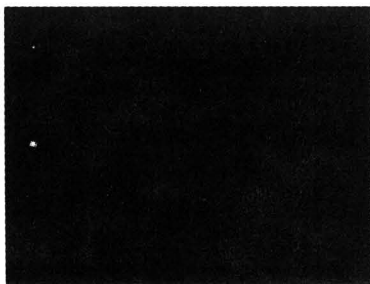


图5 特征提取后的图像

Fig. 5 The defect separated

4 结论

本文运用曲面函数提取背景后,图像灰度起伏大大减少;通过纹理消隐和阈值分割,缺陷能够被比较清楚和完整的分离出来,这些方法均不依赖于缺陷的具体形状.另外针对工程研究对象结构相对简单的特点,提出了相应的纹理消隐思路,在工程上具有一定的参考意义.

参考文献

- 1 Yen J C, Chang F J. A new criterion for automatic multilevel thresholding. *IEEE Trans on Image Processing*, 1995, **4**(3):370~377
- 2 Pikaz A, Averbuch A. Digital image thresholding based on topological stable state. *Pattern Recognition*, 1996, **29**(5):829~843
- 3 Corneloup G, Moysan J. Image segmentation by thresholding using cooccurrence matrix analysis. *Pattern Recognition*, 1996, **29**(2):281~296
- 4 梁继民,王昌明,殷廷瑞,等.基于投影的X光图像分割区域数量判定.光子学报,2004,**33**(2):1518~1521
Liang J M, Wang C M, Yin T R, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(2):1518~1521
- 5 王保平,范九伦,谢维信,等.一种基于代价函数和模糊熵的图像分割方法.光子学报,2003,**32**(12):1502~1505
Wang B P, Fang J L, Xie W X, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12):1502~1505
- 6 颜庆津.数值分析.北京:北京航空航天大学出版社,1999.193~219
Yan Q J. *Numerical Analysis*. Beijing: Buaa Press, 1999: 193~219
- 7 Kehoe A, Parker G A. Image processing for industrial radiograph inspection. *Image Enhancement. British Journall of NDT*, 1990, **32**(4):183~190
- 8 Vishvjit S N, Thomas O B. On detecting edges. *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 1986, **8**(6):699~714
- 9 严士健,刘秀芳,徐承彝.概率论与数理统计.北京:高等教育出版社,1990.141~192
Yang S J, Liu X F, Xu C Y. *Probability Theory and Mathematical Statistics*. Beijing: Higher Education Press, 1990. 141~192

The Characteristic Separation of the Textural X-ray Image

Kong Fanqin^{1,2}, Lu Hongnian¹

¹ The NDT Center In Beijing University of the Aeronautics and Astronautics, Beijing 10083

² The Light Industry of Shandong Institute, Jinan 250100

Received date: 2005-02-21

Abstract Subtracting the background of the image by the polynomial function based on the Least Square-Fit was put forward. The influence of the background being on the characteristic was reduced by the subtracting. Then, according to the structure of the workpiece, the texture was first removed in order to make the gray level even. At last, following normal distribution of the signal of the digital image, a threshold was set to make the characteristic apart.

Keywords Least square-fit; Polynomial function; Texture; Normal distribution; Threshold



Kong Fanqin was born in 1972. She became a lecturer in 2001. Now she is a Ph. D. candidate on digital radiography testing and analysing techniques in the Modern NDT Center of Beijing University of the Aeronautics and the Astronautics. Her current research interest is digital image processing and recognition.