

基于图像特征检索技术的材料腐蚀监测系统

张建勋, 纪纲, 洪雄

(重庆工学院计算机科学与工程学院, 重庆 400050)

摘要: 材料腐蚀监测是利用视频技术、计算机图像处理技术、模式识别技术等对材料外观腐蚀图像进行检测、处理及管理。该文针对材料腐蚀图像的颜色特征和空间结构信息, 用颜色直方图、颜色一致向量、颜色相关图和图像分形维数方法实现材料腐蚀图像统计特征的提取, 用加权欧氏距离来描述材料腐蚀图像的相似性, 实现了材料腐蚀图像内容的匹配及检索。

关键词: 材料腐蚀; 图像特征; 图像检索; 图像处理

Inspection System of Material Decay Based on Image Characteristic Retrieval

ZHANG Jian-xun, JI Gang, HONG Xiong

(School of Computer Science & Engineering, Chongqing Institute of technology, Chongqing 400050)

【Abstract】 Material decay monitoring, using techniques of video, computer image processing and pattern identification, detects, processes and manages the external material decay image. The color characteristic and space structure information of the external material decay image are analyzed. The statistics character of the material decay image is extracted by color histogram, color coherence vector, color correlogram and fractal dimension. The similarity of the material decay image is presented by Euclidean distance of the color character, on which the match and query system of material decay based on image retrieval technology is implemented.

【Key words】 material decay; image characteristic; image retrieval; image processing

重庆是一个具有较高的SO₂等介质和高温、高湿的大气腐蚀环境的城市, 对材料的腐蚀影响较大, 在目前环境因素对材料腐蚀影响的研究中, 主要是通过检测腐蚀试验数据, 人工观察外观腐蚀特征进行, 可能造成多人检测外观腐蚀标准不统一, 影响样品腐蚀外观评级数据的准确性^[1,2]。我国在材料腐蚀研究领域, 积累了大量的常用材料大气腐蚀试验数据和相应的腐蚀照片, 其试验信息的采集、处理研究的方法和手段较为单一, 主要在试验数据、腐蚀形貌图片的积累上, 而没有从材料的腐蚀形貌特征图像检测、信息数字化、存储、处理、图像检索上进行广泛深入的研究及仪器设备的开发与应用。需要有高效的图像处理与图像内容检索的实用算法及数据库技术。

图像内容检索(query by image content, QBIC)技术是指除了利用传统的数据库对图像的文字信息进行存储管理外, 还要利用图像的颜色特征、纹理特征、形状特征对图像进行查询。在目前图像检测技术应用中, 已有“图像轮对自动检测系统”, 可对火车被检轮对进行自动检测, “扑克牌烟盒外观一致性检测”以及“昆虫图像数字技术的研究开发”等, 都是从被测物体的外观特征进行分析与处理。本文将结合材料腐蚀监测过程, 阐述材料外观腐蚀特征信息检索所使用的技术。

1 材料腐蚀监测系统基本框架及模块组成

材料腐蚀监测系统其基本工作流程如图1所示^[3]。为系统设定初值, 包括采集图像的分辨率, 图像采集卡参数、各种材料外观类型的特征量、图像二值化及检测区域内特征点的阈值等, 并建立识别的匹配模板; 由图像采集系统将摄像

头摄取的材料腐蚀视频图像按不同的时间周期捕捉下来, 存入内存或帧缓存中。将图像进行预处理(滤波除噪, 图像锐化, 对比度增强); 对预处理后的图像进行图像分割, 进行目标与背景分离, 也就是把出现的材料腐蚀图像与背景分离开来, 以便于实现对材料腐蚀特征的处理和图像信息的检索; 对分割后的目标图像进行特征提取(图像描述), 通过相应的算法, 得到材料腐蚀图像特征信息(颜色、纹理和轮廓等特征信息), 并将获得的特征数据、图像存入图像特征数据库; 对图像特征数据与模型库(样品的图像外观信息)里建立好的材料外观腐蚀模型进行模式匹配, 识别出材料外观腐蚀的变化情况, 将识别出的结果存入数据库; 对数据库里的数据进行统计分析输出有关图片或材料腐蚀的变化数据, 实现材料腐蚀的监测。



图1 材料腐蚀检测系统流程

2 材料腐蚀特征信息检索技术

2.1 材料腐蚀图像的特征信息

每个图像类中的图像都包含使之从属于该类的内容, 同时又包含与该类无关的信息, 这些内容是千变万化的。好的

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(8647)

作者简介: 张建勋(1971-), 男, 博士、副教授, 主研方向: 计算机图像图形, 虚拟现实; 纪纲, 教授; 洪雄, 硕士、讲师

收稿日期: 2006-09-09 **E-mail:** zjx@cqit.edu.cn

特征应该能够排除噪音,抓住图像类的本质。特征的这种性质可以用不变性来刻画。不变性可以简单地理解为特征在描述图像的内容时不受图像某类形变的影响的性质。一般来讲,对于低级特征,包含的信息越多,区分能力越强,不变性越低。选择特征的准则就是在一定的图像领域下,选择具有适当不变性的特征,使其能够把同类图像归为一类,把不同类图像区分开来。

材料腐蚀特征点,描述的是材料外观表面腐蚀斑点、材料表面颜色、失光、变色等,如图2所示。在基于材料腐蚀特征图像检索应用中,需对材料腐蚀特征信息进行描述及抽取。主要描述及抽取的是材料腐蚀点(面积、形状、位置)在材料图像中的分布情况;纹理、亮度等描述;对材料图像特征抽取方式主要进行具有直观意义的图像形状与颜色特征、图像像素与纹理特征的统计,包括图像直方图和频谱等^[4]。



图2 材料腐蚀样品图片

对于材料腐蚀图像信息特征检索方式是首先抽取材料颜色、纹理与形状,然后进行基于材料腐蚀特征内容的检索。由于对图像内容的表示不是一种精确描述,因此采用相似性匹配的方法逐步求精,不断减少查询结果的范围,直到定位于要求的目标。就图像检索而言,图像内容的主要特征是形状特征、颜色特征和纹理特征等。颜色特征具有旋转不变性(rotation invariance)和尺度不变性(scale invariance),在基于内容的图像检索中,颜色直方图方法简单方便,它已成为CBIR系统中最常用的一种技术方法。基于颜色特征的图像检索的主要方法是将图像之间的距离归结为颜色特征之间的距离,即把图像的检索转化为颜色特征的匹配。

然而,经典的颜色直方图方法存在诸多缺陷,例如它不能表示图像中颜色的空间分布信息。为此,采用直方图细化技术,即将图像的颜色分布表示扩充成为颜色和其他相关特征的联合分布,这些相关特征包括统计矩、边缘强度以及空间位置信息等。将图像的颜色分布和细节信号能量的分布集成到单个直方图之中。

材料腐蚀图像除了包括颜色信息外,还包含了空间结构信息。20世纪70年代由曼德尔勃罗特等人提出的分维数的概念为材料腐蚀图像空间结构信息分析提供了新的思路,分维数作为物体的一个稳定性特征量把图像的空间结构信息与颜色信息简单而又有机地结合起来。分维数的计算给予了统计意义上的描述,有效地体现了纹理的复杂度和粗糙度,揭示了纹理内在的自相似性。本文尝试利用分形理论对材料腐蚀图像进行分形验证并计算出分维数,作为材料腐蚀图像的特征信息的一个重要特征。

2.2 材料腐蚀特征的抽取方式

颜色是自然景物图像中最重要的内容信息,选取了颜色直方图(color histogram)、颜色一致向量(color coherence vector)和颜色相关图(color correlogram)作为图像的特征^[5]。这3种特征依次具有不同的区分能力和不变性等性质。

颜色空间是颜色的表示方法。采用了HSV颜色空间。它由3个分量组成,分别代表色调H(hue)、饱和度S(saturation)、亮度V(value)。颜色直方图、颜色一致向量和颜色相关图3种特征都需要对颜色出现的频率进行统计,要对颜色空间量化。这里,将HSV颜色空间量化成256个颜色。方法是H分量量化成16个值,S和V分量分别量化成4个值。将这种量化表示为

$$Q: HSV \rightarrow C \quad (1)$$

其中, $C = \{c_i | i = 0, 1, 2, \dots, 255\}$, c_i 表示第*i*种量化颜色。

如果图像的颜色表示方法不是采用HSV颜色空间,需要先将其转化为HSV颜色空间,我们将这种转化表示为

$$T: RGB \rightarrow HSV \quad (2)$$

2.2.1 颜色直方图

颜色直方图由Swain和Ballard提出,并最早用于基于颜色的图像检索。设原始图像用 $I(x, y)$ 表示,则颜色直方图H可以定义如下:

$$H = \{h_0, h_1, \dots, h_{255}\} \quad (3)$$

$$h_k = \frac{\sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} 1, \text{如果 } Q(T(I(x, y))) = c_k}{N_1 \times N_2} \quad (4)$$

其中, N_1 和 N_2 表示图像的宽和高, $k = 0, 1, \dots, 255$ 。直观地说, h_k 是图像中具有量化颜色 c_k 的像素数量的比例。

2.2.2 颜色一致向量

颜色直方图简单地对颜色出现的频率进行统计,没有考虑颜色的空间分布情况。它的区分能力很弱,不能区分颜色密集分布和松散分布的情况。比如满地的落叶和日落的景象可能具有类似的颜色直方图,但颜色分布却极为不同。颜色一致向量通过考虑相同颜色的像素的连通程度,引入了一定的颜色空间分布信息,而更具有区分能力。它实际上是将颜色直方图中的每个 h_k 分成两个值,一个表示连通度高的像素,另一个表示连通度低的像素。颜色一致向量S可以定义如下:

$$S = \{(s_0, s'_0), (s_1, s'_1), \dots, (s_{255}, s'_{255})\} \quad (5)$$

$$s_k = \frac{\sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} 1, \text{如果 } Q(T(I(x, y))) = c_k \text{ 且像素 } (x, y) \text{ 所在同色区域大于图像的 } 1\%}{N_1 \times N_2} \quad (6)$$

s'_k 由类似方法定义($h_k = s_k + s'_k, k = 0, 1, \dots, 255$ 。)

直观地说, s_k 是图像中具有量化颜色 c_k 并具有高连通度的像素数量的比例。

2.2.3 颜色相关图

与颜色直方图和颜色一致向量不同的是,颜色相关图不仅从颜色出现的频率角度描述图像的颜色分布信息,而且刻画了图像中各种颜色之间的空间分布关系。它是通过统计图像中两种颜色在各种距离上的变化关系来实现的。颜色相关图可以有很多种形式,考虑到实际可以接受的空间和时间复杂度,采用一种简化的常用形式,即颜色自相关图A。它定义如下:

$$A = \{a_i^k | i = 0, 1, \dots, 255; k = 1, 2, 3, 4, 5\} \quad (7)$$

$$a_i^k = \frac{\Pr_{(x_1, y_1) \in I, (x_2, y_2) \in I} [Q(T(I(x_1, y_1))) = c_i, |Q(T(I(x_2, y_2))) - c_i| = k]}{|Q(T(I(x_1, y_1))) - c_i| = k} \quad (8)$$

其中, $|Q(T(I(x_1, y_1))) - c_i| = k$ 是像素 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 之间的距离。

a_i^k 就是与具有量化颜色 c_k 的像素距离为*k*的像素仍具有量化颜色 c_k 的概率或比例。

2.2.4 图像的分形维数

通过研究发现,材料腐蚀图像从统计上讲,能够在一定

的范围内在不同的观察比例下保持特性不变,这个性质可用“统计自相似”这个概念加以描述,它正适合于布朗分形模型。

一个随机函数 $B(x)$ (图像可视为二维随机函数)是分形布朗函数的条件是,它必须对所有的 x 和 Δx 满足下式^[6]:

$$P_r \left\{ \frac{|B(x+\Delta x) - B(x)|}{\|\Delta x\|^H} < t \right\} = F(t) \quad (9)$$

其中, x 为 N 维欧氏空间 R^n 中的任一点, $F(t)$ 为满足高斯分布 $N(0, \delta^2)$ 的随机函数, P_r 表示概率, $\|\cdot\|$ 表示范数,参数 H 称为Hurst系数。当 $H=0.5$ 且 $F(t)$ 为 $N(0,1)$ 高斯分布时, $B(x)$ 为典型的布朗运动,分形布朗运动是典型布朗运动的推广。 $B(x)$ 的分形维数 D 、拓扑维数 N 和Hurst系数 H 之间有如下关系:

$$D = N + 1 - H \quad (10)$$

对于图像而言(拓扑维数为 $N=2$),则有

$$D = 3 - H, 0 < H < 1 \quad (11)$$

基于分形布朗运动的图像分维数的提取主要有功率谱法、灰度统计法和表面积法。本文采用功率谱法。功率谱法的思想是:图像 $f(x,y)$ 经二维Fourier变换后,变为 $F(U,V)$,Fourier变换的平方值 $|F(U,V)|^2$ 为功率谱密度。如果材料腐蚀图像 $f(x,y)$ 是分形布朗运动图像,则有下列的式子:

$$\lg S(f) = -(1+2H)\lg f + C \quad (12)$$

其中, $f = (u^2 + v^2)^{1/2}$, $S(f)$ 为图像 $f(x,y)$ 的功率谱密度函数,如果 $\lg S(f)$ 与 $\lg f$ 的坐标图近似是一条直线,则可粗略证明图像具有分形的特点。应用最小二乘法可估计出 H 值,从而求出分形维数 D 值。实验中实际计算分维数时,一般是先求平均功率谱密度,即 $s(f)$ 的实际取值为频率区间 $[f, f+1)$ 所对应的各功率谱密度的平均值。

分形布朗函数在投影、仿射变换下以及在不同尺度下进行变换,其维数应保持不变,即具有同一分形特征图像中的不同区域一般具有相同的维数。但受到各种因素的影响,实际上任何图像都不可能是理想的分形体。

2.3 基于材料腐蚀颜色特征的检索方式

依据式(1)~式(12)计算图像的3种颜色特征向量和图像的分形维数,其中图像的分形维数为一维,颜色直方图为256维,颜色一致向量为512维,颜色自相关图为1280维。

表1从颜色分布的角度对上述3种特征的不变性、区分能力等性质作了比较。

表1 3种颜色特征和图像的分形维数的比较

	包含的信息	区分能力	不变性	计算复杂度
颜色直方图	少	低	强	低
颜色一致向量	中	中	中	中
颜色相关图	多	强	低	高
图像的分形维数	极少	强	强	高

可以将颜色直方图、颜色一致向量、颜色相关图和图像的分形维数四种特征结合起来进行基于内容的图像检索。在本次实验中,相似性测度采用加权欧氏距离(Euclidean distance):

$$De = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i (T_i - Q_i)^2} \quad (13)$$

式中, T_i 为数据库中图像的特征值; Q_i 为目标图像的特征值; w_i 为特征值的权重; n 为特征值数目。

先把数据库中的各个材料腐蚀视为自成一类,然后按颜色特征矢量、图像的分形维数计算各图像之间的距离,求得最小距离,把距离最小的两个图像合并成一类。反复上述过程,直到得到事先指定的类数。采用分级聚类的方法可以大大提高检索效率,但是不可避免地也会使检出率降低。因此,聚类是否合理、聚类算法的选择是否得当是问题的关键,它将直接影响检出率的高低。除了上述的聚类算法以外,也可以采用其他的算法,如C均值算法、Kohonen聚类网络、ISODATA算法、自适应聚类网络等。在数据库增加图像时,计算新增图像与各类之间的距离,然后将其归入距离最小的一类。需要说明的是,采用分级聚类方法的目的是模仿人的视觉检索过程,减少计算量,提高检索效率。这种聚类结果与按标准分级的结果是不同的。

对某一待检材料腐蚀图像,首先计算腐蚀图像颜色直方图、颜色一致向量、颜色相关图和图像的分形维数四种特征值,然后计算与各类材料腐蚀图像之间的距离,按一定权重比例(平均分配颜色直方图、颜色一致向量、颜色相关图和图像的分形维数的权重比例即各占1/4)合成待检材料腐蚀图像与各类材料腐蚀图像之间的综合距离,最后输出检索出的一幅或多幅材料腐蚀图像及相应数据库数据,这些图像将按与待检材料腐蚀图像的相似程度顺序排列。

3 结束语

实验对象取自59所的材料腐蚀图像数据库。该数据库主要由金属材料自然环境长期曝露后采集的图像组成,图像经处理后分辨率为 512×512 。在本文阐述的理论基础上在VC 6.0及SQL Server环境下开发基于图像检索技术的材料腐蚀监测系统,目前已在59所试用,检索匹配成功率约为80%。

材料腐蚀图像内容的检索是建立在材料腐蚀图像特征信息的识别与处理上,而材料腐蚀特征抽取的好坏,将直接影响到材料腐蚀图像内容的匹配。另外,在材料腐蚀图像的使用过程中,腐蚀特征点受时间、环境影响较大,建立完备的材料图像数据库是必不可少的。因此,对基于图像检索技术的材料腐蚀监测系统的进一步完善还有许多工作要做。

参考文献

- 1 纪钢. 材料腐蚀特征的图像模式识别处理[J]. 合肥工业大学学报, 2002, 25(2): 312-316.
- 2 纪钢. 图像信息处理及图像数据库模型分析[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(8): 64-66.
- 3 吴更石. 多模式实时工业图像检测系统[J]. 计算机工程与应用, 1998, 34(9): 55-57.
- 4 章疏晋. 基于内容的视觉信息检索[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- 5 Swain M J, Ballard D H. Color Indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- 6 王润生. 图像理解[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1994.