

K-均值聚类算法在电容器外观图像分割中的应用^①

孙克辉, 洪天勤

(中南大学 物理科学与技术学院, 长沙 410083)

摘要: 电容器是电子整机产品的必要器件。由于制造工艺及设备水准的限制, 露白是一种常见的电容器外观缺陷。基于 K-均值聚类算法, 结合露白电容器外观图像的特点, 提出了电容器露白区域分割算法。根据 Ohta 等人的研究成果, 选取能有效表示彩色特征的彩色特征集中的第一个分量, 用来替代 K-均值聚类图像分割中的灰度; 确定分类类别数为两类, 采取了粗糙集理论的算法, 求出初始聚类中心和间距阈值。实验表明, 该图像分割算法能有效分割出电容器图像的露白区域, 具有较好的精确度和准确度。

关键词: 电容器; K-均值; 粗糙集; 图像分割

Application of K-Means Clustering Algorithm to Capacitor Appearance Image Segmentation

SUN Ke-Hui, HONG Tian-Qin

(School of Physics Science and Technology, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Capacitor is the necessary component of electronic whole products. Because of manufacturing technology and the limit of equipment's level, the thief is a common capacitor cosmetic defects. This paper puts forward a regional segmentation algorithm of the thief capacitor based on the k-means clustering algorithm and combining the characteristics of the image of the thief capacitor. According to the research results of Ohta, et al, the first component of color feature is chosen and used as the image segmentation by employing the K-means clustering method. This paper defines the number of classification is two, and gives the algorithm of initial clustering center and spacing threshold according to rough set theory. Experimental results show that this image segmentation algorithm can effectively segment the thief area of the capacitor image, and have good precision and accuracy.

Key words: capacitor; K-means; rough set; image segmentation

目前, 计算机视觉技术在工业产品的检测中起到了愈加重要的作用, 可以代替人来完成一系列具有重复性和一定风险的工作, 大大提高了生产效率, 实现了生产自动化。要实现基于计算机视觉的电容器外观不良产品的检测, 首先要获得产品的外观特征等信息, 必须对图像进行合理的处理。如何把目标区域从图像中分割出来是关键, 它决定了图像的最终分析质量和模式识别的判别结果。一般的图像分割算法主要有阈值分割法^[1], 边缘检测法^[2], 区域生长法^[3]等。研究人员也提出了用神经网络法^[4]和聚类法^[5]进行图像分割。但由于成像条件的复杂性, 很难找到效果很好并且普

遍使用的分割准则, 必须根据有关图像的先验知识, 在不同的场合采取不同的图像分割技术。

近年来, K-均值聚类法在彩色图像分割中一直受到广泛应用。K-均值聚类法是一种无监督动态算法, 具有一定的自适应性, 但聚类结果容易受到聚类个数和初始聚类中心的影响。在电容器生产中, 由于电容器套管机设备自身的限制, 有些电容器套管未能完全包裹住电容器芯子, 导致电容器芯子银白部分显露出来, 显露出来的部分称为电容器露白区域。本文结合露白的电容器图像的自身特点, 基于 K-均值聚类算法, 提出了电容器图像露白区域的分割算法。实验表

① 收稿时间:2011-05-19;收到修改稿时间:2011-06-11

明, 该图像分割方法能有效提取出电容器图像中的露白区域, 从而帮助实现对电容器外观的露白检测。

1 K-均值聚类算法

空间聚类是一种空间数据划分或分组的重要方法, K 均值聚类算法是聚类中硬 C 划分的一种, 它以 K 为输入参数, 将研究对象的空间距离指标按照相似性准则划分到 K 个子集中, 使得相同子集中各元素间的差别最小, 而不同子集中各元素间差别最大, 通常 K-聚类算法是建立在各种距离基础之上的, 如欧几里得距离、曼哈顿距离和马氏距离等^[6]。

1) 欧几里得距离

在 n 空间中欧几里得距离公式为:

$$d(i, j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{in} - x_{jn})^2} \quad (1)$$

2) 曼哈顿距离

曼哈顿距离又称为城市区块距离, 也就是欧几里得距离空间的固定直角坐标系上两点所形成的线段对轴产生的投影的距离总和。距离的公式如下

$$d(i, j) = |x_{i1} - x_{j1}| + |x_{i2} - x_{j2}| + \dots + |x_{in} - x_{jn}| \quad (2)$$

3) 马氏距离

马氏距离是由印度统计学家马哈拉诺比斯(P. C. Mahalanobis)提出的, 表示数据的协方差距离。与欧氏距离不同的是它考虑到各种特性之间的关系, 并且是尺度无关的。对于一个均值为 $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$, 协方差矩阵为 A 的多变量向量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 其马氏距离为:

$$d(x) = \sqrt{(x - \mu)^T A^{-1} (x - \mu)} \quad (3)$$

根据空间聚类的一般准则, 类别的区分应该使得同一类的内部相似度最大, 差异度最小, 而不同类间的相似度最小, 差异度最大^[7]。空间聚类一般使用距离作为划分准则, 即任一空间对象与该对象所属类的几何中心的距离比该对象到任何其他类的几何中心的距离都小。K-均值算法的设计思想如下:

首先, 由用户确定所要的聚类的准确数目 k, 并随机选择 k 个对象(样本), 每个对象称为一个种子, 代表一个类的均值或中心, 将剩余的每个对象, 根据其到各类中心的距离将它赋给最近的类, 然后重新计算每个类中对象的平均值, 形成新的聚类中心, 这个过

程重复进行, 直到下列准则函数收敛为止。

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2 \quad (4)$$

这里, E 是指所有研究对象的平方误差总和, p 为空间的点, 即数据对象, m_i 是类 C_i 的平均值, 按照这个准则生成的结果类趋向于独立和紧凑。

2 改进K-均值聚类算法在电容器图像分割中的应用

以往的一些 K 均值聚类图像分割算法直接针对图像的像素几何进行聚类, 聚类规模较大, 具有较大的计算量和时间消耗。为了解决这一问题, 人们提出了将灰度空间像素映射到其灰度直方图特征空间中, 从而把针对像素几何进行聚类映射成针对灰度级集合进行聚类, 大大提高了对灰度图像的分割速度。在实际应用中, 很多图像处理的对象都是彩色图像, 表征彩色像素需要 RGB 三个分量, 不能直接应用于 K 均值聚类图像分割算法来处理彩色图像。日本学者 Ohta 等人通过对大量的彩色图像区域分割实验, 得到一个适合进行彩色图像分割的彩色特征集, 即

$$\begin{aligned} I_1 &= (R + G + B) / 3 \\ I_2 &= (R - B) / 2 \\ I_3 &= (2G - R - B) / 4 \end{aligned} \quad (5)$$

实验证明, 仅需要分量就可有效进行彩色电容器图像分割。

2.1 聚类数目 k 的确定

类的数目 k 的选取直接影响到图像分割的最终结果, 如果 k 值过大将会造成图像的过度分割, 如果 k 值过小又会造成图像的误分或者过于粗糙。在本研究中, 要实现电容器的露白区域分割, 为了提高分割的准确度, 首先将电容器和背景分割开来, 然后再对电容器进行分割, 将电容器分割成非露白区域和露白区域两类。因此对电容器图像进行两次分割, 每次分割后的类数为 2, 从而确定聚类数目 k 的值为 2。

2.2 初始聚类中心的确定

由 K-均值聚类算法得知, 如果所选取的初始聚类中心选取在几个分布密集区域的中心, 其周围的点就容易分到最近的点, 聚类收敛越快, 则所需要的迭代次数越小。为了提高聚类的效率, 我们根据粗糙集理论确定初始聚类中心。

对于一幅图像，其直方图一般呈谷峰状分布。同一区域内像素的灰度值比较相近，不同区域内像素数也不相等。定义像素的灰度值的差为条件属性，等价关系 R 定义为：如果两个像素灰度值差小于给定的间距阈值 D ，则两个像素是相关的，是等价类。一般是要给定间距阈值 D ，从而求出初始聚类中心。每个电容器图像的灰度直方图不同，从而不同图像的间距阈值也会不一样。为了提高算法的准确性和自适应性，本研究中，间距阈值 D 可以根据不同电容器图像的情况进行自适应地调整。首先随机给定一个间距阈值 D ，通过直方图可以求出灰度值的分布范围，根据分布范围得出灰度级数 L 。对于每个灰度值而言，将该灰度级范围内像素个数最多的灰度值定义为中心点。计算各个中心点之间的两两间距，如果距离小于阈值 D ，则将对应的中心点合并，并将两个点的算术均值作为新中心点的值，直到所有中心点的两两间距都大于 D ，得到中心点的个数和数值。如果中心点的个数不为 2，则将对应的间距阈值 D 加 1 或者减 1，重复以上过程，直到中心点的个数为 2。最终得到的中心点数值就为初始聚类中心，并也得到最终相应的间距阈值 D 。

2.3 电容器图像 k-均值聚类分割算法

根据 Ohta 等人的研究成果，本文使用彩色电容器图像的 I_1 分量替代 K 均值聚类图像分割中的灰度，用 T 表示像素点的个数 $I_1^p \in \{0, 1, \dots, L_{max} - 1\} (P = 1, 2, \dots, T)$ ， I_1^p 为每个像素的值。 L_{max} 为 I_1 的亮度级数， $Q_j^{(i)}$ 代表在第 i 次迭代后赋给类 j 的像素集合， $\mu_j^{(i)}$ 表示第 i 次迭代后第 j 类的均值，即第 i 次迭代后的聚类中心。具体步骤如下：

1) 计算出电容器图像的 I_1 分量，根据 I_1 分量，应用粗糙集理论选取 K 均值聚类所需要的两个初始聚类中心 $\mu_1^{(0)}, \mu_2^{(0)}$ 。

2) 在第 i 次迭代时，考察每个像素值 I_1^p ，计算出它与聚类中心的距离 d ，将每个像素赋予均值离它最近的类，本文采用曼哈顿距离，即 $|I_1^p - \mu_j^{(i)}| = \min\{|I_1^p - \mu_1^{(i)}|, |I_1^p - \mu_2^{(i)}|\} (j = 1, 2)$ ，则 $I_1^p \in Q_j^{(i)}$ 。

3) 对于 $j = 1, 2$ ，计算新的聚类中心，更新类均值：

$$\mu_j^{(i+1)} = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in Q_j^{(i)}} x_p \quad (6)$$

其中 N_j 是 $Q_j^{(i)}$ 中的像素的个数。

4) 将所有像素逐个考察一遍，如果对所有的 $j = 1, 2$

有 $\mu_j^{(i+1)} = \mu_j^{(i)}$ ，则算法收敛，结束；否则退回步骤 2 继续下一次迭代。

3 实验结果

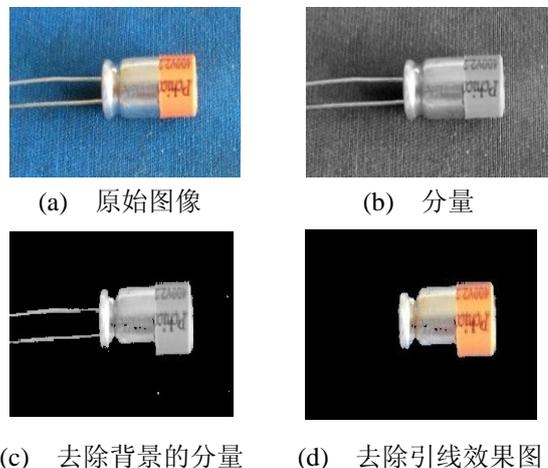
为了验证本文算法的有效性，本文采用 Matlab 编程环境进行彩色电容器图像分割的仿真实验。选取了露白电容器的彩色图像进行分析。如图 1(a)和图 2 (a) 为原始露白电容器图像。

首先计算电容器图像的 I_1 分量替代 K 均值聚类算法图像分割中的灰度。图 1(b),图 2(b)为原始图像图 1(a)和图 2(a)对应的 I_1 分量。

根据电容器图像的分量，进行第一次 K-均值聚类算法分割，类的数目为 2，将图像中的电容器和背景分开。图 1(c),图 2 (c)为去除背景后的电容器图像对应的 I_1 分量。

由于电容器引线的颜色特征与露白区域相同，因此必须去除引线部分，才能确保第二次分割出的露白区域不包括引线部分。本文先对去除背景后的图 1(c)和图 2 (c) 进行二值化。由于背景的灰度值为零，阈值化算法很简单，只需将非零的值置为 1 即可。形态学开运算能完全删除细小的突出部分，断开狭窄的连接。本文采用了开运算对二值化的电容器图像进行处理，去除引线部分和一些孤立的点，再将其还原成对应的彩色图像，结果如图 1(d)和图 2 (d)所示。

对图 1(d)和图 2(d)进行一次 K-均值聚类分割，同样先算出它们的 I_1 分量，再进行 K-均值聚类分割，聚类数目为 2。分割后，先对露白区域部分的图像二值化，进行开运算，去除一些孤立的点和细线，再还原成相应的彩色图像。图 1(e)和图 2 (e)为最终分割出的电容器露白区域图像。表 1 为算法所需要的运行时间。





(e) 分割出的露白区域

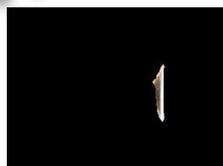
图 1 分割效果 1



(a) 原始图像

(b) I_1 分量(c) 去除背景的 I_1 分量

(d) 去除引线效果图



(e) 分割出的露白区域

图 2 分割效果

表 1 算法所需时间对比

	第一次分割处理 时间 t/s	第二次分割处理 时间 t/s	总时间 t/s
图 1	1.0503	0.5229	1.5732
图 2	1.0469	0.5723	1.6192

可见本文的算法能较好地分割出露白电容器图像中的露白区域,且运行时间较短,分割结果令人满意。

4 结论

本文结合露白电容器图像的特点,根据最终分割的目的,确定聚类个数为 2 类,同时根据粗糙集的理论,确定初始聚类中心;利用 Ohta 等人的研究成果,选取能有效表示彩色像素特征的彩色特征集中的第一个分量用来替代图像分割中的灰度,大大降低了运算量。实验表明,本文的算法能有效分割出电容器图像中的露白区域,具有较高的精度和准确度,分割效果良好,且运行时间较短。

参考文献

- 1 Navon E, Miller O, Averbuch A. Color image segmentation based on adaptive local thresholds. *Image and Vision Computing*, 2005,23,(1):69-85.
- 2 Chnada B, Kundu MK, Padmaja YV. A multi-scale morphological edge detector. *Pattern Recognition*, 1998, 31 (10):1469-1478.
- 3 Adams R, Bischof L. Seeded region growing. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994,16(6):641-647.
- 4 马兆敏,黄玲,等.基于神经网络的杂草图像分割算法. *计算机工程与应用*,2009,45(24):216-218.
- 5 杨润玲,高新波.基于加权模糊 c 均值聚类的快速图像自动分割算法. *中国图像图形学报*,2007,12(12):2105-2112.
- 6 王易循,赵勋杰.基于 K 均值聚类分割彩色图像算法的改进. *计算机应用与软件*,2010,27(8):127-130.
- 7 杨善林,李永森,胡笑旋,潘若愚.K-means 算法中 k 值优化问题研究. *系统工程理论与实践*,2006,2:97-101.

(上接第 184 页)

6 总结

本文介绍了一种通过边缘突出及马赛克去除以改善图像质量的综合处理流程。整个过程包括区域采样缩小,边缘信息提取,线条图像矢量放大,马赛克区域定位,区域内平滑化,以及轮廓边缘信息的扩展、突出和叠加等步骤。该方法的实施不仅能够达到质量要求,并具有相对快速的执行效率。在实例测试中获得了良好的效果。该流程实施部署于图像监控设备,发挥实际效能。

参考文献

- 1 陈萍.概率与统计.北京:电子工业出版社,2001.
- 2 Shi J, Tomasi C. Good Features to track. *IEEE Trans. on Computers*, 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Seattle: Springer, 1994: 593-600.
- 3 Davis LS. A survey of edge detection techniques. *Computer graphics and image processing*, 1975,4(3):248-260.
- 4 米哈尔斯基.机器学习与数据挖掘.北京:电子工业出版社,2004.