

灰色关联分析在工程图纸除噪预处理中的应用研究

田红鹏¹, 马 苗^{2,3}

(1. 西安科技大学 计算机系, 陕西 西安 710054; 2. 西北工业大学, 陕西 西安 710072; 3. 陕西师范大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 提出了一种基于灰色关联分析的工程图像除噪预处理算法。该算法首先对含噪工程图像的特点进行分析, 利用图像中噪声点与边缘点的空间分布连续性不同和图像为近似二值图像的特征, 确定了两个非边缘点的参考序列和一组待比较序列; 然后通过这两个参考序列与各比较序列之间的灰色关联度将含噪图像的像素重新分类, 从而在保留尽可能多边缘的情况下除去噪声。实验表明该除噪方法具有简单易行、效果显著, 而且能同时除去多种不同类型的噪声及可动态控制去除噪声与保持边缘的折中度等优点。这对于改善细化、骨架化、识别和矢量化等后继处理结果有着重要意义和实用价值。

关键词: 灰色关联分析; 工程图纸; 图像预处理; 近似二值图像

中图分类号: TP391.41; N941.5 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2007)04-0198-03

Gray Relation-analyzed Preprocessing for Noised Engineering Drawings

TIAN Hong-peng¹, MA Miao^{2,3}

(1. Dept. of Computer Science, Xi 'an University of Science & Technology, Xi 'an Shanxi 710054, China; 2. Northwestern Polytechnical University, Xi 'an Shanxi 710072, China; 3. College of Computer Science, Shanxi Normal University, Xi 'an Shanxi 710062, China)

Abstract: This paper proposed an algorithm based on grey relational analysis to preprocessing for noised engineering drawings. Taking the characteristics of noised engineering drawings into consideration, made use of the differences in spatial distributing continuity between noise pixels and edge pixels to select two referential sequences and a group of comparative sequences in a similar binary image. And then, by computing the grey relational coefficient of the two kinds of sequences, kept the edge pixels unchanged, at the same time reclassify the non-edge pixels to binary value sets, thereby noise reduced. Experimental results showed that the algorithm has the interests as follows: easy to implement; promising denoising results that are superior to the existing other methods, such as median filtering, wiener filtering, window based averaging filtering; applicable to speckle noise, salt & pepper noise and gaussian noise at the same time; a dynamically controllable balance between noise removal and edge reservation by adjusting the grey relational threshold. It is helpful to better the results of the consequent processing such as thinning, skeletonization, recognition and vectorization for engineering drawings.

Key words: gray relational analysis; engineering drawing; image preprocessing; binary image

随着 CAD/CAM 等计算机辅助工具的日益普及, 传统的工程图纸因难以修改、难以再利用、难以管理、存储空间大、像质易退化等缺点而逐渐被矢量文件所代替。但是, 如何对众多工厂和设计部门已有图纸进行自动输入、识别、计算机化和再利用是学术界和工程设计等业界迫切需要解决的问题。

近年来, 多数工作主要集中在图纸的细化、轮廓提取、矢量化和特征识别技术^[1~6], 而对识别和矢量化之前的预处理工作未引起足够的重视。但是对于此类图像, 尤其对于那些退化和受到污染的工程图像, 不恰当的预处理一方面常使大量的有用信息丢失, 一方面容易引入虚假信息, 为后期的处理增加难度和工作量。因此, 作为工程图纸识别的良好开端, 如图 1 所示, 必须选择合适的方法对图纸进行除噪、修复断点等预处理工作, 以保证后续的二值化图像质量。

本文的主要工作是通过含噪的扫描工程图像的特点进行分析, 并引用文献[7]中的灰色系统理论, 提出并实现了一

种基于灰色关联度的图像除噪预处理算法。该算法能够同时除去高斯噪声、椒盐噪声等加性噪声和乘性噪声, 是一个较为通用的除噪新途径。这对于提高图像的二值化效果^[8,9]和简化图纸细化、轮廓提取、特征识别和矢量化难度有着重要意义和实用价值。

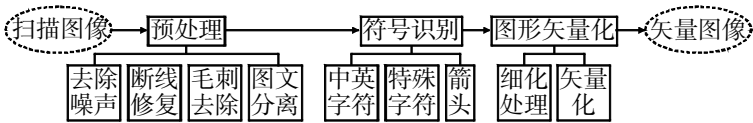


图 1 除噪预处理在工程图纸矢量化中的位置

1 灰色系统与灰色关联分析

根据信息的已知程度, 可将系统分为白色系统、黑色系统和灰色系统。其中, 白色系统指信息完全确定的系统; 黑色系统指信息完全不确定的系统; 灰色系统指信息不完全或不完全确定的系统。现实世界中大多数系统为灰色系统。灰色系统

收稿日期: 2005-11-02; 修返日期: 2006-03-02 基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(20060401009); 西安科技大学科研培育基金项目(200617)

作者简介: 田红鹏(1970-), 男, 陕西西安人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为计算机网络、图像处理等(thp@xust.edu.cn); 马苗(1977-), 女, 山东聊城人, 讲师, 博士, 主要研究方向为图像处理、模式识别和灰色理论等。

理论是我国学者邓聚龙教授于 1982 年正式提出的^[7]。贫信息、小样本建模的独特优点使灰色系统理论迅速地广泛应用于农业、经济、生态、气象、医学、地理、历史、体育、管理、政法、水利、地质、地震、环境等几乎各个领域。

1.1 灰色关联分析的优点

灰色关联分析是灰色系统理论的精华之一,应用灰色关联分析研究复杂系统中各因素间关系的原理是将几个无任何规律的样本序列间几何形状的相似性比较,升华到灰色关联空间,建立起整体比较机制,得出整体相似性的定量度量,从而找出影响系统发展趋势的重要因素,掌握事物的主要特征^[10]。灰色关联分析的优势在于它克服了传统系统分析方法无法克服的缺点。例如它不需要大量数据作为样本找出统计规律、也不要求样本服从某个典型的概率分布等。

1.2 灰色关联度分析的计算步骤^[7,11]

(1) 从灰色系统中抽象出参考数列 $x_0(k)$ 和各个待比较数列 $x_r(k)$ 。其中, $k=1, 2, \dots, N$ integer表示序列中的第 k 项; $r=1, 2, \dots, I$ integer标志各个比较序列; N 表示序列的长度; I 表示比较序列的个数。

(2) 计算参考序列与各比较数列之间的灰色关联系数 ξ_r 。
 $\xi_r(k) = (\Delta_{\min} + \xi\Delta_{\max}) / (\Delta r(k) + \xi\Delta_{\max}), k=1, 2, \dots, N$ integer (1)

其中, $\Delta_{\min} = \min |x_0(k) - x_r(k)|$; $\Delta_{\max} = \max |x_0(k) - x_r(k)|$; $\Delta r(k) = |x_0(k) - x_r(k)|$; ξ 为分辨系数, 是一个事先取定的常数。常取 $\xi \leq 0.5$, 保证 $\xi_r \in [0, 1]$ 。 $\Delta_{\min}$ 和 $\Delta_{\max}$ 分别为 x_0 数列与 x_r 数列的最小绝对差值和最大绝对差值; $\Delta r(k)$ 为 $x_0(k)$ 与 $x_r(k)$ 的绝对差值。

(3) 计算参考序列与各比较数列之间的灰色欧几里德整体关联度 R_{0r} 。

$$R_{0r} = 1 - 1 / \sqrt{N} [N(\overline{R_{0r}} - 1)^2 + \sum_{k=1}^N \xi_{0r}^2(k)]^{1/2}$$
 (2)

其中, $\overline{R_{0r}} = 1 / N \sum_{k=1}^N \xi_r(k)$, $\xi_{0r}(k) = \xi_r(k) - \overline{R_{0r}}, \sum_{k=1}^N \xi_{0r}(k) = 0$ 。

由式(2)可见,灰色欧几里德关联度不仅考虑了比较数列与参考数列在各点的关联系数平均值 $\overline{R_{0r}}$ 对关联度的影响,而且还考虑了各点关联系数波动值 $\xi_{0r}(k)$ 对关联度的影响。当 $\overline{R_{0r}}$ 不变时,若 $\xi_{0r}(k)$ 增加,则关联度减少;当 $\xi_{0r}(k)$ 不变时,若 $\overline{R_{0r}}$ 增加,则关联度增加;特别地,当 $\overline{R_{0r}} = 1, \xi_{0r}(k) = 0$ 时,关联度为最大,即 $R_{0r} = (\overline{R_{0r}})_{\max} = 1$, 这时表示比较数列 x_r 的态势与参考数列的态势完全相同。

(4) 根据灰色整体关联度分析系统特征,找出系统中各因素与参考因素的关联程度。

2 基于灰色关联分析的工程图像除噪算法及实现

2.1 含噪的扫描工程图像特点分析及除噪原理

对图像进行除噪时关键在于对噪声点的判断,针对具体的某个像素有两种可能,即噪声点或非噪声点。但究竟是不是噪声点无法确定,这是典型的外延确定、内涵不确定问题。因此可把含噪图像看成一个灰色系统,应用灰色关联分析。

二值图像,即图像中各个像素点的取值只有两个图像。最常用的是黑/白二值图像,其像素取值均为 0 或 1。下面定义一个新的概念——近似二值图像。

定义 若一幅图像中,绝大多数像素点的取值 0/1 或在 0/1 附近,而只有极少数像素取值在距离 0/1 较远处,则称该

图像为近似二值图像。

根据上面的定义,可知含噪的扫描工程图像是近似二值图像,具体特征为: 绝大多数像素的取值为 0/1 或接近 0/1。这些取值为 0/1 或接近 0/1 的像素点多数是 useful 信息引入了轻微噪声形成的;少数是由于噪声的加入引起的,如椒盐噪声能使图像中部分像素值直接变为 0/1。取值在距离 0/1 较远处的像素主要是因为原图像中相应位置的像素点受到了严重噪声干扰形成的。

图像除噪的实质是一个保留边缘和去除噪声的一个折中过程。因此为了能够对该过程保持一个动态控制,达到最大程度地保留边缘和最大程度地除去噪声,本文引入了灰色关联分析法对近似二值图像除噪。其基本思想如下:

把含噪图像中的各像素点分为三类: 边缘上点的集合; 取值为 1 值的内点集合及引入了噪声的取值在 1 附近的点的集合; 取值为 0 值的内点集合及引入了噪声的取值在 0 附近的点的集合。如果能够找到两个参考序列分别代表集合和中的像素,并能通过图像中各像素点与这两个参考序列的灰色关联系数找出集合,即边缘上的点,那么只需要边缘上的点保持不变,就能在除噪过程中保持边缘;其他各像素点根据与两个参考序列的灰色关联程度的大小重新归入集合和即可实现近似二值图像除噪。

2.2 基于灰色关联分析的除噪预处理算法实现

(1) 参考数列和比较数列的选择与确定^[12]。

在近似二值图像中,若用各个像素及其相应的上、下、左、右四个相邻位置的像素来组成一个序列,并用 1 表示白色,0 表示黑色。那么以下两个序列可以分别作为参考序列代表白色的内部点和黑色的内部点:

$$x_1 = \{ 1, 1, 1, 1, 1 \} \text{——代表白色内点}$$
$$x_2 = \{ 0, 0, 0, 0, 0 \} \text{——代表黑色内点}$$

为与参考数列进行灰色关联度比较,同样采用含噪图像中各个像素及其相邻的上、下、左、右四个相邻像素来组成比较序列。那么,对于 $M \times N$ 大小的图像,需要进行边缘部分的扩展,扩展方法为: 当 $i, j=0$ 或 $i=M, j=N$ 时,重复其相邻的行或列上的相应位置的像素值作为该点的值,共形成 $M \times N$ 个比较序列,即

$$x_{i,j} = \{ x_{i-1,j}, x_{i+1,j}, x_{i,j}, x_{i,j-1}, x_{i,j+1} | i \in [1, M], j \in [1, N] \}$$
 亦可表示为

$$x_r = \{ x_r(k) | r \in [1, M \times N], k \in [1, 5] \}$$

(2) 根据式(1)和(2),计算以各像素点为中心形成的比较数列 x_r 与两个参考序列 x_1 和 x_2 之间的灰色关联系数 R_{1r} :

$$R_{1r} = 1 - 1 / \sqrt{N} [N(\overline{R_{1r}} - 1)^2 + \sum_{k=1}^N \xi_{1r}^2(k)]^{1/2}$$
 (3)

其中, $\overline{R_{1r}} = 1 / N \sum_{k=1}^N \xi_r(k)$; $\xi_{1r}(k) = \xi_r(k) - \overline{R_{1r}}, \sum_{k=1}^N \xi_{1r}(k) = 0$;

$$\xi_{1r}(k) = (\Delta_{\min} + \xi\Delta_{\max}) / (\Delta 1r(k) + \xi\Delta_{\max})。$$

$$\Delta_{\min} = \min |x_1(k) - x_r(k)|; \Delta_{\max} = \max |x_1(k) - x_r(k)|;$$
$$\Delta 1r(k) = |x_1(k) - x_r(k)|$$
$$R_{2r} = 1 - 1 / \sqrt{N} [N(\overline{R_{2r}} - 1)^2 + \sum_{k=1}^N \xi_{2r}^2(k)]^{1/2}$$
 (4)

其中, $\overline{R_{2r}} = 1 / N \sum_{k=1}^N \xi_r(k)$; $\xi_{2r}(k) = \xi_r(k) - \overline{R_{2r}}, \sum_{k=1}^N \xi_{2r}(k) = 0$;

$$\xi_{2r}(k) = (\Delta_{\min} + \xi\Delta_{\max}) / (\Delta 2r(k) + \xi\Delta_{\max})。$$

$$\Delta_{\min} = \min |x_2(k) - x_r(k)|; \Delta_{\max} = \max |x_2(k) - x_r(k)|;$$
$$\Delta 2r(k) = |x_2(k) - x_r(k)|$$

(3) 除噪原则: 根据关联度阈值 θ 与 R_{1r} 和 R_{2r} 的关系进行

除噪。其中 $\theta \in (0, 1]$ 是一个预先设定的常数, 可称为除噪系数或保边系数。具体实现如下:

当 $\max(R_{1r}, R_{2r}) < \theta$ 时, 说明中心像素为边缘上的点, 故 $P(r) = A$, 为保留边缘, 令 $P(r)$ 不变;

当 $\max(R_{1r}, R_{2r}) \geq \theta$ 且 $R_{1r} \geq R_{2r}$ 时, 说明中心像素与参考序列 x_1 的相似性大, 故 $P(r) = B$, 令 $P(r) = 1$;

当 $\max(R_{1r}, R_{2r}) \geq \theta$ 且 $R_{1r} < R_{2r}$ 时, 说明中心像素与参考序列 x_2 的相似性大, 故 $P(r) = C$, 令 $P(r) = 0$ 。

(4) 除噪程度的动态控制。调整除噪系数/保边系数 θ 的大小, 以控制除去噪声的程度和保留边缘的程度, 达到两个矛盾体的一个较好的平衡点。

3 仿真实验

3.1 实验结果

为评价该算法的有效性, 笔者进行了大量的实验, 下面给出其中的一组。图 2(a) 为一幅退化的扫描图像, 其有用信息包括中文字符、英文字符、数字、线、弧、箭头和特殊符号等。引入的噪声包括三种: 乘性噪声——Speckle 噪声、颗粒噪声——Salt & Pepper 噪声和 Gaussian 噪声。为便于比较, 分别实现了用中值滤波、均值平滑法、维纳滤波三种传统除噪方法和基于灰色关联分析的除噪方法的处理结果。图 2(b) ~ (e) 分别是中值滤波、均值平滑滤波、维纳滤波和基于灰色关联分析的除噪结果; (f) 是未引入噪声的理想图像。由图 2 可以看出, 本文提出的算法能够同时除去上述类型的大部分噪声, 处理结果明显优于传统的三种除噪方法。

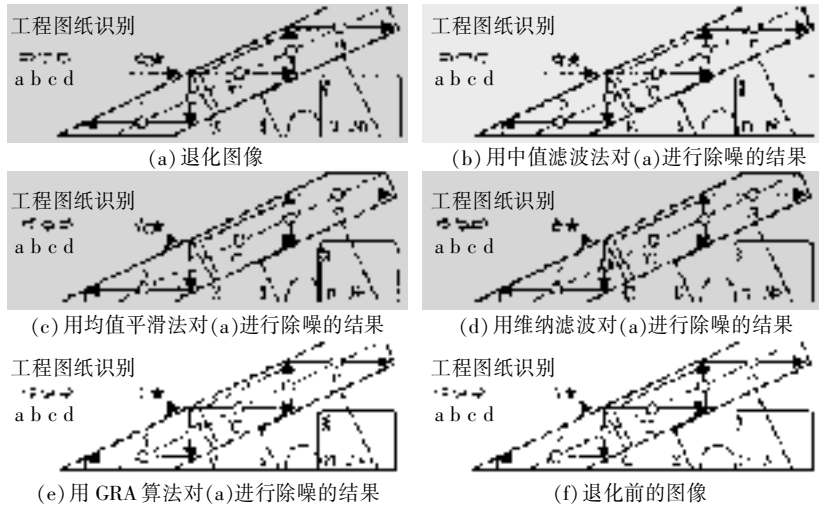


图 2 含不同类型噪声的除噪实验

3.2 实验结果分析与算法性能讨论

(1) 为客观定量地评价上述各方法除噪后图像的质量, 笔者分别计算其 MSE 和 PSNR, 结果如表 1 所示。根据均方根误差越小, 峰值信噪比越大, 说明除噪效果越好, 图像质量越好的原则, 可知基于灰色关联分析的图像除噪方法不仅提高了峰值信噪比, 而且大大降低了 MSE, 不同程度地优于传统的均值平滑等方法。

(2) 从上述各种方法除噪后的图像直方图(图 3) 来看, 传统除噪方法增加了 $(0, 1)$ 之间取值的像素个数。尤其是维纳滤波和中值滤波明显引入了接近 1 值的噪声; 而基于 GRA 的消噪预处理后, 处在 $(0, 1)$ 之间的像素点比其他方法显著减少。之所以未将之完全二值化是因为它们都是边缘上的点。这部分点的二值化可在后续的二值化处理中根据边缘点的位置妥善处理。

置妥善处理。

表 1 各种除噪方法的定量比较

比较项目	含噪图像	均值平滑滤波图像	维纳滤波图像	中值滤波图像	灰色关联分析除噪图像
MSE	43.383 3	43.839 9	35.765 0	28.770 8	15.789 9
PSNR	31.757 6	31.712 1	32.596 2	33.541 3	36.147 0

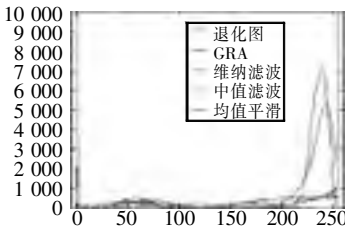


图 3 不同除噪方法后的直方图

(3) 关于灰色关联度阈值 θ 与除噪性能关系的讨论: 关联度阈值 θ 越小, 除噪效果越好, 但边缘丢失越严重; 反之, 关联度阈值 θ 越大, 保留的边缘越多, 但除噪效果变差。这是因为除噪过程是保留边缘和去除噪声的一个矛盾折中的过程。该算法通过关联度阈值实现了动态控制除噪程度和边缘保留程度, 与传统的只能输出单一结果的除噪方法相比是一个独特优点。

4 结束语

本文针对扫描后的工程图纸图像, 尝试了在图像处理中引用灰色关联分析法来解决近似二值图像的除噪问题, 并进一步提出了基于灰色关联分析的工程图像除噪算法。实验表明本文提出的基于 GRA 的除噪方法构思新颖、通用性强、计算简单, 不需要任何变换, 可根据实际情况, 通过灰关联阈值动态控制边缘保留与噪声去除的折中程度等优点。此外, 由于算法除噪前不需要任何关于噪声的先验知识和其他附加条件, 是一种较为通用、使用灵活、高效的盲除噪方法, 有较为重要的理论意义和实用价值。下一步的工作有如何在灰度图像和彩色图像中利用灰色关联分析进行除噪的研究等。

参考文献:

- [1] OSEPH S H, PRIDMORE T P. Knowledge-directed interpretation of mechanical engineering drawings[J]. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 1992, 14(9): 928-940.
- [2] MARAGOS P A, SCHAFER R W. Morphological skeleton representation and coding of binary images[J]. **IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing**, 1986, 34(5): 1228-1244.
- [3] GOUTSIAS J, SCHONFELD D. Morphological representation of discrete and binary images[J]. **IEEE Transactions on Signal Processing**, 1991, 39(6): 1369-1379.
- [4] TRAHANIAS P E. Binary shape recognition using the morphological skeleton transform[J]. **Pattern Recognition**, 1992, 25(11): 1277-1288.
- [5] ESSAM A E, MANSUR K R. Binary object representation and recognition using the Hilbert morphological skeleton transform[J]. **Pattern Recognition**, 2000, 33(10): 1621-1636.
- [6] DENG Julong. Control problems of grey system[J]. **System and Control Letters**, 1982, 1(5): 288-294.
- [7] 汪涛, 俞瑞钊, 何志均. 基于平均场退火的二值纹理图像恢复[J]. 计算机学报, 1994, 17(8): 618-623.
- [8] 周晓琪, 袁保宗. 噪声背景中离散二值图像的形态表示[J]. 电子学报, 1994, 22(1): 16-25.
- [9] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.
- [10] 赵艳林, 韦树英, 梅占馨. 灰色欧几里德关联度[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 1998, 3(1): 10-13.
- [11] 马苗, 樊养余, 谢松云, 等. 基于灰色系统理论的边缘检测新技术[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8A(10): 1136-1139.