

多尺度形态学在彩色图像去噪中的应用

贾书香,任小洪,王天文,梁立飞

(四川理工学院 自动化与电子信息学院,四川 自贡 643000)

摘要:文中阐述了多尺度形态学对彩色图像滤噪。该方法采用大小不同的结构元素进行图像滤波,通过大尺度抑制噪声,小尺度得到丰富的边缘。根据彩色图像各颜色通道 RGB 的相光敏感曲线,选择结构元素,对图像进行滤波去噪并进行合并。结果表明该方法对噪声有较好的抑制作用,保持了原图像的细节信息,具有一定的可行性和实用性。根据此方法的特点,该方法适用的图像类型是图像中的对象尺寸都比较大,没有细小的细节,对这种类型的图像除噪的效果会比较好。

关键词:多尺度形态学;结构元素;彩色图像;滤除噪声

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)01-0128-04

Use of Multi-scale Morphology in Filtering out Noise of Color Image

JIA Shu-xiang, REN Xiao-hong, WANG Tian-wen, LIANG Li-fei

(Institute of Automation and Electronic Information,

Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Multi-scale morphology is introduced into the color image for filtering out noise. Different sizes of structural elements are used for filtering out noise of image in the method. Then use anti-noise characteristics of large-scale to curb noise and use position properties of small-scale to get the rich edge. According to the relative spectral sensitivity curve of the RGB color channel of color image, structural elements are separately selected to filter out noise and merge. The results show that the method has better noise inhibition, to maintain the details of information of the original image and has feasibility and practicality. According to the characteristics of this method, the method is suitable for the type of images, which the size of the object in images is large and has no small detail. The effects of filtering out noise of image would be better.

Key words: multi-scale morphology; structural elements; color image; filter out noise.

0 引言

图像在生成、传输或变换的过程中,受光源性能、成像系统性能以及通道带宽和噪声等诸多因素的影响,往往会出现清晰度下降、对比度偏低、动态范围不足、包含噪声等降质现象。为了后续的处理和分析,往往需要提高或恢复图像质量,因此,要用到图像增强。图像增强的好坏与感兴趣物体特性、观察者的心理和处理目的密切相关,因此,图像增强算法的应用有很强的针对性和选择性,并不存在通用的增强算法。目前,图像质量优劣的评价很多情况下是观察者相当主观的

过程,还没有衡量图像增强质量的通用标准和通用的定量判据,因此在图像增强方法的选择上没有通用的规则。在实用中,针对具体图像和应用目的,从中选出视觉效果比较好、计算复杂性相对小、又合乎应用要求的算法。图像增强在不深究图像降质的原因的情况下,只根据图像的特点和处理的目的,采用一定的技术进行修正。其主要目的有改善图像的视觉效果;将图像转换成一种更适合于人类或机器进行分析处理的形式,以便从图像中获取更多的有用信息。图像增强技术分类有两类,即空域滤波和频域滤波。根据模板的不同,又分为线性和非线性两类^[1]。线性滤波有均值滤波和维纳滤波等,像均值滤波处理后的图像,存在着不希望的边缘模糊的负面效应;维纳滤波器只利用了图像的协方差信息,可能还有大量的有用信息没有充分利用。非线性滤波有中值滤波和形态滤波等。中值

收稿日期:2009-04-13;修回日期:2009-07-17

基金项目:四川省(高校)重点基金资助项目(2007R011)

作者简介:贾书香(1984-),女,硕士研究生,研究方向为图像处理及识别;任小洪,硕士生导师,副教授,主要研究方向为智能控制。

滤波器是一种非线性滤波器,使用非常普遍。因为它对于一定类型的随机噪声,提供了一种优秀的去噪能力,比小尺寸的线性滤波器的模糊程度明显要低。但在彩色向量空间执行中值滤波器就必须找到一种向量排序方案,以便确定中值,这一过程相当复杂。

形态学作为一种新兴的图像处理技术,已得到人们的广泛关注,并应用于图像处理的许多方面。它是一种具有严密理论的非线性几何滤波方法,主要处理二值图像和灰度图像,包括有形态学梯度法^[2], Top-hat 法^[3]和多尺度法等,其中多尺度法是一种较好的方法,对噪声有较好的抑制作用,可克服线性滤波边缘模糊的缺陷。文中提出了基于数学形态学的多尺度彩色图像滤波方法,并取得了良好的滤除噪声的效果。

1 形态学基本算法

数学形态学图像处理的基本思想是利用结构元素作为“探针”在图像中不断移动,在此过程中收集图像的信息、分析图像各部分间的相互关系,从而了解图像的结构特征,以实现对图像的分析 and 识别。数学形态学算法可以分解为结构元素的选取和形态学运算这两个基本问题。最基本的数学形态学运算有:膨胀(dilation)、腐蚀(erosion)、开启(opening)、闭合(closing),并两两之间存在对偶性。利用这些算子及其组合来进行图像形状和结构的分析和处理,可以解决抑制噪声、特征提取、边缘检测、形状识别、纹理分析、图像恢复与重建等方面的问题。

膨胀的运算符为“ \oplus ”,图像集合 A 由结构元素 B 来膨胀,记作 $A \oplus B$,其定义为:

$$A \oplus B = \{x \mid [B]_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

其中, $[B]$ 表示 B 的映像,即与 B 关于原点对称的集合。式(1)表明,用 B 对 A 进行膨胀的过程是这样的:首先 B 作关于原点的映射,再将其映像平移 x ,当 B 的映像与 A 的交集不为空集时, B 的原点就是膨胀集合的像素。

腐蚀的运算符为“ \ominus ”, A 用 B 来腐蚀记作 $A \ominus B$,其定义为:

$$A \ominus B = \{x \mid [B]_x \subseteq A\} \quad (2)$$

式(2)表明, A 用 B 来腐蚀的结果是所有满足将 B 平移 x 后, B 仍全部包含在 A 中的 x 的集合,从直观上看就是 B 经过平移后全部包含在 A 中的原点组成的集合。

开启是使用同一结构元素对图像先进行腐蚀然后再进行膨胀的运算;闭合是先进行膨胀再进行腐蚀的运算。开启的运算符为“ \circ ”, A 用 B 来开启记为 $A \circ B$,其定义如下:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

闭合的运算符为“ \cdot ”, A 用 B 来闭合记为 $A \cdot B$,其定义如下:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

膨胀利用结构元素对图像补集进行填充,对图像外部作滤波处理,而腐蚀是对内部作滤波处理。膨胀具有扩大图像的作用,腐蚀具有收缩图像的作用。

形态学开运算可以过滤掉位于信号上方的噪声,根据对偶性,闭运算可以滤掉位于信号下方的噪声尖峰。从统计学角度看,以开运算作为滤波器,存在的问题:除非噪声图像位于非噪声图像的上方,否则滤波器的输出将会产生偏移现象,闭运算也存在同样的问题。在一般情况下,噪声往往由信号上下凸起的尖峰组成。只要这些噪声是很好分离的,则可以利用开运算和闭运算的迭代运算或闭运算和开运算的迭代运算将其消除,使用迭代运算的目的之一也就是要减弱上述所说的偏移现象^[4]。由上面所述,形态学中的开启和闭合运算不受原点位置的影响,无论原点是否包含在结构元素中,开启和闭合的结果都是一样的。所以文中采用彩色形态开—闭和彩色形态闭—开组合滤波器对彩色图像进行滤波。

该实验仿真在 MATLAB7.6 上进行,则:

开启操作的调用格式: $IM = imopen(IM, SE)$

闭合操作的调用格式: $IM = imclose(IM, SE)$,

其中 IM 为输入图像, SE 为结构元素。

2 结构元素的选择

已有的研究表明,各种数学形态学算法可以分解为结构元素选取和形态学运算这两个基本问题^[5]。形态学运算的规则已有明确的定义,形态学运算的性能取决于结构元素的选择根据探测研究图像的不同结构特点,恰当地选择结构元素。由于结构元素可携带形态大小、灰度、色度等信息,结构元素的选择决定了形态学运算的性能。不同结构元素可以用来检测图像不同侧面的特征,因此设计符合人的视觉特性的结构元素是分析图像的重要步骤。

结构元素的选取原则有两个:(1)结构元素必须在几何上比原图像简单,而且有界;(2)结构元素的形状最好具有某种凸性,如:圆形、十字形、方形等。且根据结构元素的结合率,可以把复杂的结构元素分解成简单的线性元素,再逐步对图像作用。例如,若 B 为正方形或矩形,则可将它分解成 $B = B_1 \oplus B_2$,其中 B_1 为水平线段, B_2 为垂直线段。于是可以分别以水平和垂直两个方向做一维腐蚀和膨胀,其结果相当于做一

次二维腐蚀或膨胀。

在利用开、闭运算滤除图像的噪声时,选择圆形结构元素会得到较好的结果^[6]。当选用圆形结构元素时,开运算对边界进行了平滑,去除凸角。在凸角点周围,图像的集合结构元素无法容纳给定圆盘时,从而使凸角点被开运算删除。因此经过开运算后,能够去除孤立的小点、毛刺和小桥,平滑较大物体的边界,同时并不明显改变其面积。再经过闭运算后,能够填平小孔,弥合小裂缝,而总的位置和形状不变。

二维的结构元素由一个数值为 0 或 1 的矩阵组成,通常比待处理的图像要小得多。结构元素的原点制定了图像中需要处理的像素范围,结构元素中数值为 1 的点决定了结构元素领域中的像素在进行膨胀或腐蚀操作时是否需要参与计算。三维或非平面的结构元素使用 0 或 1 来定义结构元素在 x 和 y 平面上的范围,采用第三维来定义高度。文中选择结构元素圆形(disk)和正方形(square),如图 1 所示。

$$\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{array} \quad \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{array}$$

(a)圆形结构元素 (b)方形结构元素

图 1 两种结构元素

多尺度形态学滤波就是利用大小不同的结构元素进行图像滤波,小尺寸的结构元素去噪声能力弱,但能保存好的边缘细节,大尺寸的结构元素去除噪声能力强,但所检测的边缘较粗^[7]。因此,多尺度形态学的彩色图像滤波方法利用大尺度下的抗噪特性抑制噪声,利用小尺度下的定位特性得到丰富的边缘。

根据红、绿、蓝三种基色的相对光谱敏感曲线,人眼对绿色的敏感度最高,淡蓝色的敏感程度最低^[8]。实验采用多尺度形态学对彩色图像进行滤波。对绿色通道使用小一点的结构元素,这样可以保留更多的细节信息;而蓝色通道则可以采用大一点的结构元素,这样可以滤除更多的噪声。可以使用 MATLAB 图像处理工具箱函数 `strel` 来创建结构元素:

```
se1 = strel('square',3);
se2 = strel('disk',1);
se3 = strel('disk',2);
```

3 实验仿真数据和结果比较分析

图像去噪质量主要是人根据增强目的而由主观视觉评定的,因此,图像去噪不存在通用的理论方法,因而在得到满意的结果之前都会进行多次反复的试验和修改。为了分析和评价上面提出的形态学滤波器的滤

波效果,研究从客观和主观两个方面进行测试。以均方误差 MSE 和峰值信噪比 PSNR 为两个衡量标准:

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x,y) - f'(x,y))^2}{MN}$$

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left(\frac{255^2}{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x,y) - f'(x,y))^2} \right)$$

该试验选取两幅图作为测试图像,并加入 5% 的椒盐噪声,单尺度滤波分别选择结构元素 `se1`、`se2`、`se3`;多尺度滤波中,红、绿、蓝三通道分别选用图 1 中的结构元素 `se1`、`se2`、`se3`。观察滤波效果并进行比较,比较结果如图 2 和图 3 所示。



图 2 lena 图像滤波结果比较

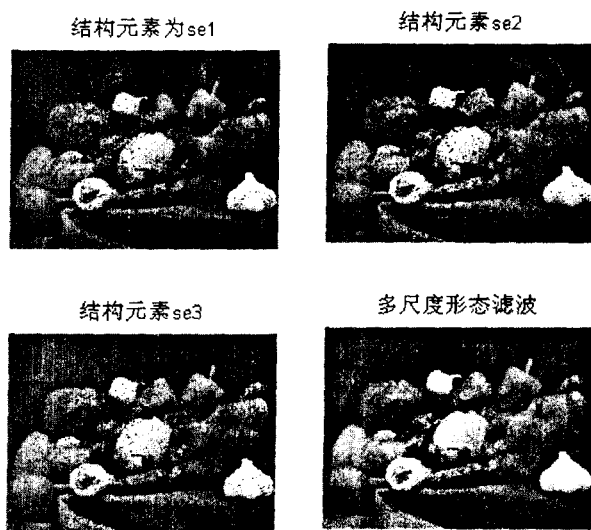


图 3 pepper 图像滤波结果比较

由实验仿真结果分析:单尺度结构元素尺度大小不同滤波效果也不同。圆盘形尺度半径越小,边缘细

节越清楚;尺度半径越大,边缘越粗。还可以看出,多尺度形态滤波的效果要比单一结构元素的滤波效果要好,不但很好地去除了噪声,而且也抑制了边缘模糊的现象,更适合人眼视觉的识别。因此,在彩色图像去噪时,可选用对彩色图像颜色通道分别进行滤波去噪的多尺度形态学滤波,不但对噪声有较好的抑制作用,还可克服线性滤波边缘模糊和细节损失的缺陷。滤波器的性能比较见表 1。

表 1 滤波器的性能比较

性能参数 滤波器	MSE1	PSNR1	MSE2	PSNR2
单尺度 se2	1.3333e-004	200.0519	2.7127e-005	215.9752
单尺度 se3	0.0019	173.6167	8.3076e-005	204.7829
单尺度 se1	0.0010	179.8198	0.0041	165.8647
多尺度 se1, se2, se3	0.0019	173.6167	8.3076e-005	204.7829

4 结束语

图像去噪是图像处理和机器视觉的一个非常基础而又重要的课题。文中采用结合形态学滤波的多尺度方法对图像进行去噪,可克服线性滤波边缘模糊和细节信息损失的缺陷。试验结果表明该方法对噪声有较好的抑制作用,保持原图像的细节信息,具有一定的可行性和实用性。根据此方法的特点,该方法适用的图像类型是图像中的对象尺寸都比较大,没有细小的细

节,对这种类型的图像除噪的效果会比较好。

为了使从噪声污染的图像中恢复原始图像的结果达到最优,在确定结构元素半径时,可以采用优化方法。具体操作中为达到这一目的,可将图像和噪声视为随机过程,通过经验数据或统计优化分析得到优化结果。

参考文献:

[1] 徐 飞,施晓红. MATLAB 应用图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002:101-124.

[2] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 第 2 版. 北京:电子工业出版社,2007:420-450.

[3] 邹永星,周仁魁,罗秀娟,等. 一种提取图像目标边缘的新方法[J]. 光电工程,2005,32(6):76-78.

[4] 崔 屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2000.

[5] 李 卓,郭立红. 多尺度形态学边缘检测算法[J]. 电子器件,2006,29(3):821-824.

[6] 何东健,耿 楠,张义宽. 数字图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003:175-197.

[7] 商艳丽,王小鹏,夏志成. 一种基于多尺度形态学的彩色图像边缘检测方法[J]. 电子元器件应用,2007,9(8):68-70.

[8] 胡学龙,许开宇. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2006:170-182.

(上接第 127 页)

参考文献:

[1] 吕建军. 数据挖掘技术的应用研究[D],北京:中国农业大学,2002.

[2] Han Jiawei, Kamber M. 数据挖掘:概念与技术[M]. 范 明等译,北京:机械工业出版社,2001.

[3] 蔡江辉,张华煜. 离群数据挖掘方法研究[J]. 电脑开发与应用,2005,18(12):46-47.

[4] Knorr E M, Ng R T. Algorithms for Mining Distance-based Outliers in Large Datasets[C]//New York: Proc. of Int. Conf. Very Large Data-bases(VLDB'98). New York; [s. n.], 1998:392-403.

[5] Wang W, Yang J, Muntz T R. Sting: A Statistical Information Grid Approach to Spatial Data Mining[C]//Jarke M, Carey M J, Dittrich K R, et al. Proc. of Bases. Athens: Morgan Kaufmann, 1997.

[6] Aggarwal C C, Yu P S. Outliers Detection for High Dimensional Data [C]//In: Aref W G. Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data.

Santa Barbara, CA: ACM Press, 2001:37-47.

[7] Tukey J W. Exploratory Data Analysis[M]. MA: Addison Wesley and Sons, Inc. , 1994.

[8] Preparata F, Shamos M. Computational Geometry: An Introduction[M]. [s. l.]: Springer-Verlag, 1988.

[9] Struyf A, Rousseeuw P J. High-dimensional Computation of the Deepest Location[J]. Computational Statistics and Data Analysis, 2000, 34:415-426.

[10] 魏 黎,宫学庆. 高维空间中的离群点发现[J]. 软件学报, 2002, 13(2):280-282.

[11] 熊君丽. 高维空间下基于密度的离群点探测算法实现[J]. 现代电子技术, 2006(15):67-69.

[12] 崔贯勋,朱庆生. 一种改进的基于密度的离群数据挖掘算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(3):559-560.

[13] 黄洪宇,林甲祥. 离群数据挖掘综述[J]. 计算机应用研究, 2006(8):8-13.

[14] 刘嘉嘉. CLIQUE 算法改进及其在电子商务企业中的应用与研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2007.