

基于数学形态学的彩色噪声图像边缘检测算法^{*}

石跃祥, 康 蕴, 刘海涛

(湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105)

摘 要: 针对已有的数学形态学边缘检测算法对彩色噪声图像检测到的彩色边缘信息不够完整、清晰, 提出了一种基于 HSI 色彩空间的多尺度多结构元的数学形态学边缘检测算法, 采用以尺度和结构两个单位元素进行横向和纵向的拓展, 以面的形式对彩色噪声图像进行全面的边缘检测。基于这种理念分别对 H 和 S 两个携带颜色信息的分量进行边缘检测, 最后将两分量的边缘信息通过加权合成得到彩色图像的彩色边缘。实验证明, 该算法的去噪效果明显, 得到的彩色边缘轮廓清晰、细节丰富, 对彩色边缘的提取具有可行性和有效性。

关键词: HSI 色彩空间; 彩色噪声图像; 边缘检测; 多尺度多结构元; 数学形态学

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)03-1172-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.03.103

Based on mathematical morphology of color noise image edge detection algorithm

SHI Yue-xiang, KANG Yun, LIU Hai-tao

(College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan Hunan 411105, China)

Abstract: The existed mathematical morphology for edge detection algorithm can't detect the complete and sharp information of noise color image. This paper proposed a new approach to edge detection of color image, this approach was based on HSI color space to multi-scale and multi-structural elements of mathematical morphology. Using two unit elements; the scale and structure, the method expanded them from the horizontal and vertical two directions, and detected the color noise image through the form of face. Based on this method, separately detected the edge of the two components H and S which were carrying color information. Finally, weighted-synthesized them to get the color edge. The experimental results show that the algorithm has obvious denoising effect, it can obtain clearly color edge and abundant details, and the algorithm is feasible and effective for the color edge extraction.

Key words: HSI color space; color noise image; edge detection; multi-scale and multi-structural element; mathematical morphology

0 引言

图像边缘是图像的重要特征, 是指图像局部区域亮度有显著变化的部分, 不仅能够传递图像的大部分信息, 还能勾勒出物体的基本轮廓。图像的边缘检测是图像理解、分析和模式识别过程中重要的一环, 其检测的效果直接影响图像目标识别的性能。许多情况下, 人的视觉系统是把颜色信息而不是轮廓或者纹理作为主分辨特征。在现实生活中的大部分图像都是彩色图像, 与灰度图像比较, 它能提供更丰富的信息。因此, 彩色图像边缘检测正受到图像处理界越来越多的关注^[1,2]。为了便于色彩处理和识别, 人的视觉系统经常采用 HSI 色彩空间, 由于 HSI 色彩空间是从人的视觉系统出发, 用色度 (hue)、饱和度 (saturation) 和亮度 (intensity) 来描述色彩, 它比 RGB 色彩空间更符合人的视觉感知特性。

目前边缘检测的方法很多, 而传统的边缘检测算子^[3]如 Prewitt、Sobel、Roberts、Laplacian 微分算子等都是基于线性理论的, 而图像信号是非线性的, 故利用线性算子进行边缘检测会

造成图像边缘的不完整, 有时还会虚报图像的边缘, 这为以后图像处理的进一步工作带来不便。数学形态学是基于非线性理论的图像处理和分析方法, 广泛应用于图像处理和模式识别中。为了检测出比较完整的、真实的彩色边缘, 本文先将彩色噪声图像转换到 HSI 色彩空间, 针对携带颜色信息的 H 及 S 分量分别采用本文提出的多尺度多结构元的数学形态学边缘检测算子提取彩色边缘。

1 HSI 色彩空间

在彩色图像处理中, HSI 色彩空间^[4]是最适合人类视觉特性的颜色空间, 它用 H 、 S 和 I 三个分量来表征颜色, 且各分量之间相互独立^[5]。因此本文先将彩色噪声图像从 RGB 空间转换至 HSI 色彩空间进行图像预处理。由于 HSI 色彩空间有两个特点: a) I 分量与图像的彩色信息无关; b) H 和 S 分量与人类视觉感知颜色的方式紧密相连, 这使得 HSI 颜色空间非常适合基于人类的视觉感知特性来进行处理和分析图像^[6,7]。

所以本文针对此颜色空间的特点, 对 H 、 S 两分量采用本

收稿日期: 2011-07-14; **修回日期:** 2011-08-25 **基金项目:** 湖南省自然科学基金资助项目 (07JJ6115); 智能制造湖南省高校重点实验室项目 (2009IM06); 湖南省教育厅创新平台开放基金资助项目 (11K069)

作者简介: 石跃祥 (1964-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为图像检索、图像处理、模式识别等 (shiyx@xtu.edu.cn); 康蕴 (1985-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、智能信息处理、模式识别; 刘海涛 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为图像融合、模式识别等。

文提出的数学形态学方法进行边缘检测,提取彩色图像的彩色边缘。

2 数学形态学边缘检测方法改进

2.1 数学形态学理论描述

数学形态学是一种基于集合论的非线性图像处理方法,它最初是用来分析金属材料和地质样本的几何结构,目前数学形态学已成为数字图像处理与模式识别领域的新方法^[8]。其最基本的形态学运算有膨胀(dilation)、腐蚀(erosion)、开(opening)和闭(closing)。用这四种基本的算子相互组合来进行图像形状和结构的分析及处理,可以解决抑制噪声、提取边缘、边缘检测、纹理分析、图像恢复和重建、形状识别等问题。

2.2 形态学边缘检测算子

目前有三种最基本的数学形态学边缘检测算子^[9,10],如下所示:

$$\text{膨胀型: } E_d = (f \oplus B) - f \quad (1)$$

$$\text{腐蚀型: } E_e = f - (f \ominus B) \quad (2)$$

$$\text{膨胀腐蚀型: } E_g = (f \oplus B) - (f \ominus B) \quad (3)$$

由于形态学膨胀和开运算可以抑制信号的正脉冲(峰值)噪声,腐蚀和闭运算可以抑制信号的负脉冲(谷底)噪声,利用上述特性又出现了抗噪型形态学边缘检测算子^[11]如下:

$$\text{抗噪膨胀型: } G_d = f \oplus B - f \cdot B \quad (4)$$

$$\text{抗噪腐蚀型: } G_e = f \cdot B - f \ominus B \quad (5)$$

$$\text{抗噪膨胀腐蚀型: } G_g = (f \cdot B) \oplus B - (f \cdot B) \ominus B \quad (6)$$

虽然其抗噪性有一定的增强,但其检测出的边缘与结构元素 B 有关。结构元素的大小、尺寸都会直接影响图像边缘检测的效果。且结构元素的取向类型直接影响输出图像信号中包含的几何信息,以致影响图像细节的保持。而图像大部分的细节特征都呈现为线段,因此采用不同取向的结构元,将每一结构元素作为一种尺度对图像细节进行匹配,即可在多结构元素下实现图像几何特征的保持^[11]。

2.3 改进的数学形态学检测方法

实验表明,单一的结构元素对有噪声的图像边缘检测效果并不理想^[12,13],即便采用特定元素进行自膨,通过多尺度进行边缘检测^[14],虽然能在一定程度上弥补同一结构单一尺度结构元素的漏检几何形状边缘;同样仅仅采用单一尺度、多种结构类型的结构元素进行边缘检测^[7],但由于结构元素尺度的单一性,导致得到的边缘定位不够准确,去噪效果不够明显,细节方面也不够完整。为了有效抑制图像的噪声和检测图像的边缘,实现理想边缘的有效提取,笔者在总结他人已有研究方法的基础上,大胆地提出了一种改进的方法,即多尺度多结构元数学形态学边缘检测。这种方法的改进之处在于:

a)采用多尺度结构元素进行开闭去噪处理,不再局限于一种结构以及单一的尺度,去噪效果更明显,也优于文献^[8]中的交替顺序滤波效果。

b)由于图像进行去噪后,会削弱图像的对比度,这将影响将要进行的边缘提取操作,因此本文采用了顶帽—底帽变换进行图像增强。

c)本方法采用一组结构元素(这一组结构元素必须尽可

能地包含图像的所有边缘类型) $B_i(i=1,2,\dots)$,并对其进行尺度扩张形成一个 $B_{i \times j}(i,j=0,1,2,\dots)$ 的矩阵,通过这个矩阵来提取彩色边缘,形成了以面的形式进行形态学边缘检测的理念。这一方法不仅能进一步地去除图像中残留的噪声,还能有效地提取图像边缘。

3 多尺度多结构数学形态学边缘检测

多尺度多结构数学形态学边缘检测算法的具体流程如下:

a)采用两个尺度不同的结构元素进行开闭运算实现对图像的预处理,以滤除图像中的噪声并保持基本的细节部分:

$$F = (f \circ b) \cdot B \quad (7)$$

其中: b 为小尺度结构元素, B 为大尺度结构元素。通过大小尺度的开闭运算有效地抑制图像的正脉冲(峰值)和负脉冲(谷底)噪声。

b)将除噪后的图像分别与不同结构和尺度的结构元素进行膨胀和腐蚀,然后相减,进行边缘提取,即

$$E = F \oplus B_{ij} - F \ominus B_{ij} \quad (8)$$

其中: B_{ij} 是 $B_i(i=1,2,\dots)$ 进行 j 次自膨后得到的结构元素,即 $B_{ij} = B_i \oplus B_i \oplus \dots \oplus B_i(j=0,1,2,\dots)$ 。

由于随着结构元素尺度的增加,检测到的轮廓边缘会增大,且边缘越来越粗糙,有可能会影响图像细节的保持,因此一定要慎重地考虑和实验尺度扩展的程度(j 的次数),以确保图像边缘清晰、光滑。

(a)将各结构元素在进行 j 次自膨后,按照一定的权重进行合成得到 E_j ,合成公式为

$$E_j = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i (F \oplus B_{ij} - F \ominus B_{ij}) \quad j = (0,1,2,\dots) \quad (9)$$

其中 α_i 为各结构下的权重系数,注: $B_0 = B_i$ 。

(b)将步骤(a)中得到各尺度下的边缘,再按照一定的权重进行合成,合成公式为

$$E = \sum_{j=0}^{\infty} \beta_j E_j \quad (10)$$

其中: β_j 为各尺度下的权重系数。

这一算法突破了传统的点—线(点,由结构元素或尺度组成;线,结构元素单一(多样),但尺度扩展(不变))的形式进行形态学边缘检测,形成了通过尺度和结构两个方向进行拓展的以面的形式进行形态学边缘检测的理念,在滤除残留的不同类型和大小噪声的同时,还能充分保持图像的各种细节,提取出较理想的彩色边缘特征。

实验步骤如下:

a)将有噪声污染的彩色噪声图像转换到HSI颜色空间,并将携带颜色信息的 H 和 S 分量分离出来。

b)采用多尺度多结构元数学形态学边缘检测算法,用式(7)进行去噪,其中:

$$b = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

从而有效地去除噪声,并保留图像的边缘细节。

c)将去噪后的图像再使用顶帽—底帽变换增强图像对比

度,使边缘轮廓和背景更容易区分。

d)再用式(8)~(10)提取彩色分量 H 、 S 的边缘特征,根据彩色噪声图像的边缘几何类型,本文定义结构元素 $B_i(i=1,2,\cdots,8)$,如下所示:

$$\begin{aligned} B_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ B_4 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B_6 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B_7 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B_8 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

其中:各结构元下的权重系数 α_i 取 $1/8$ 。由于在小尺度下得到的边缘细节较好,而在大尺度下只能得到较大的轮廓且边缘较粗,故将小尺度下的权重系数调大。这里 $\beta_j = 4^{m-1} / \sum_{j=0}^{m-1} 4^j (j=0,1,2,\cdots), m$ 为自膨总次数。

e)由上一步实验得到的边缘可以得知, H 分量的彩色边缘特征较少,但轮廓清晰、光滑,相比 S 分量则细节较丰富、较完整,故在将两个分量进行合成时, S 分量应承担较大权重, H 和 S 分量占的权重分别为 0.2 和 0.8 。

4 实验结果与分析

在 MATLAB 7.1 软件环境下编程实现上述算法。实验中的图像采用加入了 5% 的椒盐噪声,分辨率为 256×256 像素和 512×384 像素的 RGB 空间下的彩色 Lena 和 peppers 图像(图 1)进行彩色边缘检测实验。其中图 2 是对 Lena 图像的 H 及 S 分量去噪后进行增强图像对比度处理后,采用本文方法检测到的 H 及 S 分量的边缘结果。为了验证文中算法的有效性,对图 1 中的两幅图像分别采用文献[8]中的算法和抗噪膨胀腐蚀型算子进行彩色图边缘检测,检测结果如图 3 所示。

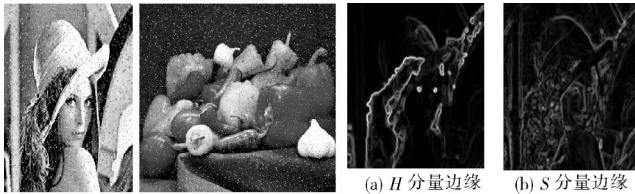


图 1 彩色噪声图像

图 2 Lena 图像彩色边缘

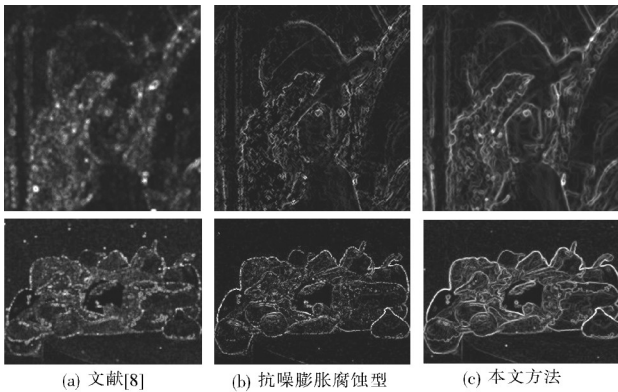


图 3 加噪图像的实验方法比较

从实验结果可知,文献[8]中采用了 5×5 的较大结构元素进行边缘检测,从而无法获取更小尺度下较好的边缘细节

(头发、帽沿和辣椒轮廓细节模糊);且未对结构元进行尺度扩张,导致无法取得更大尺度下的边缘轮廓,也无法有效地抑制噪声,所以得到的边缘有很多噪点,轮廓不够完整、清晰、光滑,其效果远不及本文算法。而抗噪膨胀腐蚀型算子采用 3×3 的较小结构元素进行边缘检测,其提取的边缘轮廓细节明显优于文献[8]中的方法,头发、帽沿和辣椒的大概轮廓比较清晰,并检测到了部分头发细节且具有很好的抗噪性;但与文中算法相比,其边缘细节不够丰富,平滑性不够强,且边缘出现漏检和明显的断裂现象。

对比各算法的边缘检测结果可以得知,本文采用的多尺度多结构元数学形态学边缘检测算法对彩色边缘的提取具有抗噪性能好、定位准确、边缘细节丰富且轮廓比较清晰、光滑,无断点和断裂边缘等优点,为下一步进行图像分割、模式识别、图像分析及理解等深层次处理的关键步骤做好充分的准备。

对于彩色噪声图像的边缘检测,检测效果的提升是以算法的复杂度为代价的,各算法的处理时间如表 1 所示。由于算法处理过程中,每个结构元素每扩张一次就要进行一次边缘提取,导致整个算法的时间复杂度有所增加,处理时间变长。

表 1 各算法处理时间对比

图像	文献[8]	抗噪膨胀腐蚀型	本文算法
Lena	0.485 2	1.202 3	2.5179
peppers	1.488 5	3.268 3	7.234 0

5 结束语

为了便于进一步的分析、处理和识别彩色图像,研究者对彩色图像边缘检测的研究越来越重视,也提出了许多方法和改进。本文对数学形态学理论在边缘检测中的应用进行了探讨,并提出了一种改进的基于 HSI 色彩空间的多尺度多结构的彩色边缘检测算法对彩色噪声图像进行边缘检测,对基于面的形式提取彩色噪声图像的彩色边缘进行了初步的实验。实验证明,该方法简单有效,提取出来的彩色边缘轮廓清晰,细节丰富,但本文算法的时间复杂度有所增加。在今后的学习中,在希望提取到的彩色边缘丰富、清晰、定位准确的基础上,寻求满足实时性,尽可能地减少算法复杂度,以达到不错的检测效果的方法。

参考文献:

[1] EVANS A N, LIU X U. A morphological gradient approach to color edge detection [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15 (6): 1454-1463.

[2] NAIK S K, MURTHY C A. Standardization of edge magnitude in color images [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15 (9): 2588-2595.

[3] 段瑞玲, 李庆祥, 李玉和. 图像边缘检测方法研究综述 [J]. 光学技术, 2005, 31 (3): 415-419.

[4] SONKA M, HLAVAC V, BOYIE R. 图像处理分析与机器视觉 [M]. 艾海舟, 武勃, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 23-26.

[5] PLATANIONTIS K N, VENETSANOPOULOS A N. Color image processing and applications [M]. Heidelberg: Springer, 2000: 25-29.

[6] ZHOU Liang, SUN Yu, ZHENG Jiang-guo. Automated color image edge detection using improved PCNN model [J]. WSEAS Trans on Computers, 2008, 4 (7): 184-189.

法^[3]计算检测帧与样本帧中属于运动像素的特征点之间的对应关系,得到两帧图像间的匹配特征点对。根据图像分割的结果,将匹配点对映射到对应的分割区域中,在区域内利用 TPS 转换模型评估该区域中存在的转换函数;利用该转换函数,按照反向映射法,可估计该区域内运动像素点的变化位移。

e)将步骤 d)中获得的最大运动位移作为核密度估计中对错误检测约束中的窗口半径,使用式(4)进行计算,就可剔除由背景运动产生的错误目标。

3 实验结果

为验证本文算法的有效性,本文在 MATLAB 平台上,对现实拍摄的、背景存在不同运动的视频片段进行了目标分割的测试,并与传统核密度估计的方法进行了对比。图 3 给出了七组视频在不同背景、不同噪声的情况下,两种方法分割的结果。核密度估计的样本都选择为最接近当前时刻、动态更新、连续捕获的 60 帧图像组成,两种方法中所有阈值都取相同的值。对经典核密度估计模型的固定邻域,实验中使用了 3×3 和 5×5 邻域的比较,所得结果区别不大。在考虑算法执行的效率上,最后本文采用了 3×3 的固定邻域。图 3(a)为当前时刻捕获并准备用于分割的原始图像;(b)为手工分割的理想结果;(c)为经典核密度估计模型利用 3×3 的固定邻域进行错误抑制后的结果;(d)为自适应邻域算法的分割结果,采用最接近当前时刻的相邻 5 帧图像作为样本帧进行配准,选择配准后运动最大的位移为错误检测约束的邻域。从实验结果可以看出,用传统核密度方法会将运动的树木、草地都检测为前景,而使用本文算法则会将大部分由背景运动形成的伪目标剔除。

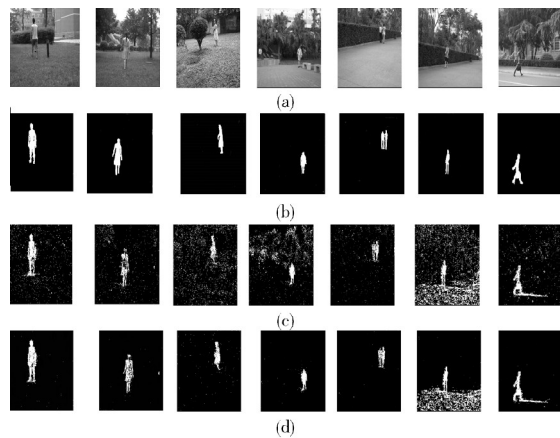


图 3 不同分割方法的分割结果

表 1 给出了两种方法相对于理想的手工分割,在正确分割率、错误分割率、漏分割率上的定量比较。从中可以看出,本文

提出的算法在错误分割率上有很大的提高,达到了对背景不同运动形成的伪目标进行抑制的目的。

表 1 不同分割模型的正确分割率、错误分割率、漏分割率

项目		正确分割率	误分割率	漏分割率
经典核密度分割结果	实验 1	0.84	0.009	0.16
	实验 2	0.75	0.008	0.25
	实验 3	0.90	0.108	0.10
	实验 4	0.89	0.037	0.11
	实验 5	0.76	0.101	0.24
	实验 6	0.89	0.123	0.11
	实验 7	0.96	0.013	0.04
自适应算法分割结果	实验 1	0.89	0.002	0.11
	实验 2	0.82	0.003	0.18
	实验 3	0.93	0.020	0.17
	实验 4	0.91	0.006	0.19
	实验 5	0.80	0.005	0.20
	实验 6	0.91	0.035	0.19
	实验 7	0.97	0.007	0.13

4 结束语

本文结合图像分割、图像配准以及核密度估计的背景建模方法实现了核密度估计背景建模方法中自适应邻域的背景运动错误检测抑制方法。通过实验说明该方法可以达到对大部分由小背景运动而导致的伪目标的抑制,但是可能会造成某些远位置小目标的漏检。本文所采用的方法也仍然不能解决背景存在非常大运动的情况,还需作进一步研究。

参考文献:

[1] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C] //Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE Computer Society, 1999: 246-252.

[2] AHMED E, RAMANI D. Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance [J]. Proceeding of the IEEE, 2002, 90(7): 1151-1163.

[3] GOSHTASBY A A. 2-D and 3-D image registration for medical, remote sensing and industrial applications [M]. New York: Wiley, 2005.

[4] 冈萨雷斯. 数字图像处理 [M]. 阮秋琦, 译. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007: 460.

[5] DENG Yi-ning, KENNEY C, MOORE M S, et al. Peer group filtering and perceptual color image quantization [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine intelligence, 1999, 21(7): 21.

[6] DENG Yi-ning, MANJUNATH B S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(8): 800-810.

[7] SMITH S M, BRADY J M. SUSAN: a new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.

image [C] //Proc of IEEE Bioinformatics and Biomedical Engineering Conference. 2007: 974-977.

[11] 范立南, 韩晓微, 张广渊. 图像处理与模式识别 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 110-113.

[12] 饶海涛, 翁桂荣. 基于数学形态学的图像边缘检测 [J]. 苏州大学学报: 自然科学版, 2004, 20(2): 42-45.

[13] 肖梅, 韩崇昭, 张蕾. 基于多尺度轮廓结构元素的数学形态学边缘检测 [J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(6): 659-660.

[14] 高丽, 令晓明. HSI 空间基于数学形态学的彩色有噪图像边缘检测 [J]. 兰州交通大学学报, 2010, 29(6): 96-98.

(上接第 1174 页)

[7] 范立南, 韩晓微, 徐心和. 基于 HSI 空间彩色图像多结构元形态边缘检测 [J]. 工程图学学报, 2005, 26(2): 110-113.

[8] 刘清, 林土胜. 基于数学形态学的图像边缘检测算法 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2008, 36(9): 113-116.

[9] LEE J, HARALICK R M, SHAPIRO L G. Morphological edge detector [J]. IEEE Trans on Robotics and Automation, 1987, 3(2): 142-153.

[10] LIU Ting, LUO Xiao-gang, PENG Cheng-lin, et al. Improved morphological edge detection algorithm for ultrasound heart ventricular wall