

图像分解模型在医学图像增强中的应用^①

鄢展鹏, 严广乐

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 医学图像增强是医学图像处理中的重要环节。通过分析小波去噪和 ROF 模型的缺陷, 先利用 ROF 分解模型将医学图像分解成为轮廓部分和细节及噪声部分, 然后对轮廓部分进行保留, 接着考虑到小波系数的非高斯性, 对细节和噪声进行了小波去噪, 并从中提取了图像的细节部分, 最后将之前的轮廓部分与之后的细节部分进行叠加。实验结果表明, 本文的算法具有较高的峰值信噪比和较高的边缘保持度。

关键词: 医学图像增强; 图像分解; 小波去噪

Application of Image Decomposition Model to Medical Image Enhancement

YAN Zhan-Peng, YAN Guang-Le

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Medical image enhancement is an important section during the medical image processing. Through analysing shortcomings of ROF(Rudin, Osher and Fatemi) model and Wavelet de-noising, first, we decomposed the image into three parts which are structure, details as well as noise, and kept the structure afterwards. Next, by considering on the non-Gaussian character of the wavelet coefficients, we applied Wavelet de-noising to the details as well as noise part. Then we obtained the details. Finally, we plused the structure and the details. According to the result, the higher PSNR and higher EPI have witnessed the better performance of the algorithm.

Key words: medical image enhancement; image decomposition; wavelet de-noising

1 引言

医学图像增强是医学影像处理中的一个重要的课题。对于一幅输入的医学图像, 在乘性和加性噪声的影响下, 往往会丢失重要的医学图像信息。所以需要保留图像中的细节(如边缘)而去除图像中的噪声。要解决去噪问题, 以往主要有三种思路: 一种是采用空间法, 典型的可见文献[1]中的双边滤波法; 另一种是频域法, 如文献[2]的针对点扩散函数和噪声共同影响的 Weiner 滤波法; 再有一种就是时频兼顾法, 见文献[3-5], 这类算法基本思路是首先将图像做小波分解, 然后实施阈值降噪, 最后做个小波反变换以达到增强的目的。文献[6]针对小波变换在方向中的缺陷, 通过脊波变换得到相应系数, 然后对系数分析调整, 再对调整后的系数做个反脊波变换, 并用 Weiner 滤波器消除卷绕效应, 得到了最终增强的图像。

遗憾的是, 第一种和第二种方法都不能保护图像边缘。小波阈值降噪等时频方法虽然考虑到变换系数在统计分布的非高斯分布特性, 从而能够在降噪的同时保护边缘等细节, 但容易出现伪边缘现象, 而这些伪边缘又可能会干扰医生的临床诊断。针对这一难题, 基于偏微分方程和变分极值最小化的算法得到了较大的关注。这类算法突出的一点是既能有效的去噪, 又能较好的保护边缘。Rudin, Osher 和 Fatemi 提出的 ROF 模型^[7]就是这类算法中的经典方法之一, 该模型最终可将医学图像去噪问题化归为一个求偏微分方程的解问题, 它在图像边缘处通过减少平滑量以抑制扩散, 在区域内则通过增加平滑量以去除噪声, 从而在去噪和边缘保护之间寻求到了一种平衡。近来, Meyer^[8]认为, ROF 模型不仅可用于图像去噪, 而且是一种能将原始图像分解成为轮廓部分和细节及噪声部

① 收稿时间:2011-06-15;收到修改稿时间:2011-07-16

分的模型。由于细节及噪声部分又称为振荡分量，故 ROF 图像分解模型又被称为振荡函数模型。近来，振荡函数模型也成为了研究的热点^[9-11]。

文献[12]首先利用帧相关技术将两幅超声医学图像融合，接着利用 ROF 模型将含有斑点噪声的超声医学图像分解为轮廓部分和细节及噪声部分，然后对得到的感兴趣轮廓部分进行了自适应滤波降噪，最终得到增强后的医学影像。但这种方法在本质上忽略了细节及噪声部分的处理。事实上，细节中也包含了图像中的大量信息。考虑到超声医学图像本身就存在图像信息少、分辨率低等缺陷，所以对细节的提取是重要的。文献[13]指出了一般的振荡函数模型是不加区别的均由振荡函数来刻画噪声和细节部分，而在去除噪声的同时也去除了相关细节。

考虑到噪声和细节的小波系数在统计分布上具有很大的区别，对于噪声而言一般会服从一定分布，如超声医学影像中的斑点噪声一般服从瑞利分布，而细节则不同，细节一般没有固定的分布。并且，小波阈值降噪不仅具有较强的降噪能力，还能反映出多尺度的细节信息。

本文算法是：首先 ROF 模型对输入医学图像进行分解，对感兴趣的轮廓保留；再用小波分析从细节和噪声图像中提取细节。最后将提取的细节与轮廓相加，得到最终增强效果。

2 实验步骤

2.1 图像分解模型

图像分解模型，即 $f = u + v$ ， f 可看为一幅输入的图像， u 是图像的轮廓，而 v 是图像的细节及噪声部分。对图像轮廓 u 的提取可以通过求解以下的非线性扩散方程得到：

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) - \lambda(u - u_0)$$

这里满足自然边界条件，初始条件为 $u|_{t=0} = u_0$ ， $u_0 = f$ 。

在这个方程中， $\nabla \cdot \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right)$ 为扩散算子， $\frac{1}{|\nabla u|}$ 为

扩散系数，该系数是梯度幅值的倒数。方程的物理含义是很明显的：扩散算子可理解为执行平滑的操作，扩散系数可理解为贯彻上述操作的程度，当系数很小

时，增加平滑，反之，减少平滑。这样，当图像中梯度幅值 $|\nabla u|$ 较大时，表明该点很可能位于边界，这时扩散系数较小，减少平滑，以达到保护边缘的目的；当梯度幅值 $|\nabla u|$ 较小时，表明该点很可能位于区域内部，这时，扩散系数较大，增加平滑，从而达到滤除噪声的目的。另外，方程中 $\lambda(u - u_0)$ 的我们可以理解为一个惩罚项，添加这个惩罚项可以使得我们得到的轮廓和原输入图像相差不远。

解上述方程采用有限差分法，思路如下：

第一步：初始化；

网格步长 $g=1$ ，时间步长是可以变量 tc 调节的，一般时间步长取比 0.02 小的值，迭代上限取 5，并设 Image 为输入图像，Image_h 和 Image_w 是图像的水平垂直的尺寸，定义两个三维向量 p 和 d ， $p=d=zeros(Image_h,Image_w,2)$ ，先将 div_p 初始化为 $zeros(Image_h,Image_w)$ ， div 对应的是散度算子；

第二步：开始；

$i=1$ ；

第三步：计算 div_p ；

for ($x=1; x<Image_w; x++$)

for ($y=2; y<Image_h-1; y++$)

$div_p(y,x) = p(y,x,1) - p(y-1,x,1)$ ；

for ($x=2; x<Image_w-1; x++$)

for ($y=1; y<Image_h; y++$)

$div_p(y,x) = div_p(y,x) + p(y,x,2) - p(y,x-1,2)$ ；

第四步：边界处理， div_p 镜像对称；

$div_p(:,1) = p(:,1,2)$ ；

$div_p(:,Image_w) = -p(:,Image_w-1,2)$ ；

$div_p(1,:) = p(1,:,1)$ ；

$div_p(Image_h,:) = -p(Image_h-1,:,1)$ ；

第五步：更新 u ；

$u=Image-tc*div_p$ ；判断 u 是感兴趣的轮廓或达到迭代上限 5？若真，退出，若假，进入第六步；

第六步：计算向前差分；

$du(:, :, 2) = u(:, [2:Image_w, Image_w]) - u$ ；

$du(:, :, 1) = u([2:Image_h, Image_h], :) - u$ ；

第七步：迭代；

$d(:, :, 1) = (1 + (dt/tc/g) * \text{abs}(\text{sqrt}(du(:, :, 1).^2 + du(:, :, 2).^2)))$ ；

$d(:, :, 2) = (1 + (dt/tc/g) * \text{abs}(\text{sqrt}(du(:, :, 1).^2 + du(:, :, 2).^2)))$ ；

$p = (p - (dt/Theta) * du) ./ d;$

$i = i + 1;$ 并返回第三步;

2.2 小波去噪与轮廓叠加

本阶段执行步骤如下:

第一步: 将输入的医学图像与 2.1 节得到的相减得到细节及噪声部分 v ;

第二步: 将 v 做二维离散小波分解, 得到 v 的小波系数;

第三步: 考虑到图像可能同时有加性噪声和乘性噪声; 如果乘性噪声占主导地位, 需要先对第二步得到的小波系数取对数并进入下一步, 若是以加性噪声为主, 则可直接进入下一步;

第四步: 阈值降噪; 这里的阈值我们选取软阈值, 即 $t = \sigma \sqrt{2 \ln N}$, 这里 N 是图像尺寸的长度, σ 约为高频小波系数除以 0.6745;

第五步: 根据第三步看是否需要调整后的的小波系数进行取指数; 再进行小波重构, 并用本阶段得到的结果加上之前的, 从而得到最终增强效果。

3 实验结果

3.1 增强算法评价指标

(1) 峰值信噪比 (PSNR)

$M \times N$ 是图像的尺寸, 则

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i, j) - \hat{f}(i, j))^2} \right)$$

(2) 边缘保持度 (EPI)

边缘保持度 β 定义为:

$$\beta = \frac{\Gamma(\Delta u - \Delta m, \Delta \hat{u} - \Delta \hat{m})}{\sqrt{\Gamma(\Delta u - \Delta m, \Delta u - \Delta m) \cdot \Gamma(\Delta \hat{u} - \Delta \hat{m}, \Delta \hat{u} - \Delta \hat{m})}}$$

$$\Gamma(f_1, f_2) = \sum_i^N f_1(i) f_2(i)$$

其中, Δu 和 Δm 分别表示原始图像 u 和去噪后的图像 m 通过 3×3 拉普拉斯算子的高通滤波结果。边缘保持度能较好的反应图像的细节, 其值越大, 表明凸显的细节越清晰, 一个好的去噪方法应该在去噪的同时保留细节的信息。因此其值越大, 算法越优越。

3.2 仿真实验结果

图 1 是截取的人体肝脏 B 超图谱, 图 2 是加以 $\sigma = 2$ 的瑞利噪声, 图 3 和图 4 分别是小波阈值去噪和全变分最小化去噪和效果。由图 3 可知, 其右上和左下角均出现了一定程度的伪边缘现象。而图 4, 图 5, 图 6 和图 7 是本文算法的核心部分。先用 ROF 算法提取轮廓, 然后得到细节与噪声图像部分 (图 5), 对图 5 降噪并提取了细节 (图 6), 最终得到了本文算法的最终增强效果。其客观评价指标 PSNR 与 EPI 指数见表 1。由表 1 可知, 相比与 ROF 去噪与小波去噪, 本文提出的算法具有较好的客观评价指标。能在去除噪声的同时, 更好保护图像的细节。

表 1 增强算法评价指标

采用方法	峰值信噪比	边缘保持度
ROF 法	53.9852	0.9563
小波降噪	48.9091	0.9322
本文算法	54.1107	0.9670

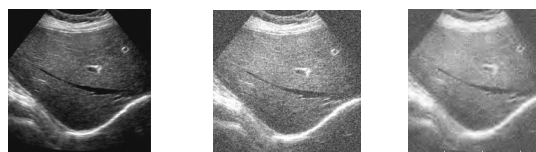


图 1 原图 图 2 噪声图 图 3 小波法



图 4 ROF 法 图 5 细节/噪声



图 6 细节 图 7 本文算法

4 结论

本文在基本图像分解的模型上, 利用 ROF 算法提取了图像平滑的几何轮廓部分, 接着利用小波变换提取了图像细节及噪声部分中的细节部分, 最后将几何轮廓与细节相加得到了最终图像的增强效果。相比与传统经典的 ROF 模型与小波降噪模型, 本文的算法既

(下转第 195 页)

MAX 更方便应用于各种工程图的识别和分析,包含了二维和三维的图,同时 Auto CAD 2007 可以根据不同效果和不同的精度绘制出用户需要的模型,Auto CAD 2007 的旋转、移动等的操作要比 3DS MAX 方便很多(6)。但 3DS MAX 和其它相关软件配合流畅,做出来的效果非常的逼真。Auto CAD 2007 拥有优秀的图层管理系统,同时它比之前版本增添的对象特性、快色计算器等新特性更是方便了其在 GIS 领域的应用。

4 结 论

随着现在三维技术应用的不断发展及 Auto CAD 软件和 Arc GIS 软件功能的不断提升和完善,将 Auto CAD 软件与 Arc GIS 软件相结合,利用 Auto CAD“万能”的优势与 Arc GIS 软件的兼容性快速的得到高质量的 GIS 产品为 GIS 行业服务是可行的。现在 Auto CAD 2009 版本已经将 CAD 功能和 GIS 功能融合在一起,这就是其功能的完善和人性化的实施,利用 CAD 进行三维建模并将其应用于 GIS 中为 GIS 服务仍需要不断的探索和研究,相信其前景是广泛的。

(上接第 187 页)

能去噪,也能很好的保护细节,具有较高的峰值信噪比和较高的边缘保持度。

参 考 文 献

- 1 肖秀春,王章野,张雨浓,姜孝华,彭群生.连续子邻域内的鲁棒双边滤波.计算机学报,2011,38(3):275-278.
- 2 候涛,汪源源,郭翌.基于期望最大化框架的医学超声图像去斑.声学学报,2011,36(1):73-80
- 3 Ibrahim S, Sadhar A, Rajapalan N. Restoration of scanned photographic images. Signal Processing, 2006(86):1035-1048.
- 4 张玲.医学图像处理中的小波变换应用.中国医学影像技术, 2010,26(2):372-374.
- 5 王绍波,郭业才,王卿.基于自适应低通滤波的超声医学图像增强算法.中国医学影像技术,2009,25(3):492-495.
- 6 梁义涛,何连连,常华.脊波变换在眼底图像中的去噪效果评价.光电工程,2010,37(1):136-140.
- 7 Rudin L, Osher S, Fatemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms. Physica D, 1992,60(1-4):259-268.

参 考 文 献

- 1 康红霞.基于 ArcGIS 的三维景观建模技术研究[硕士学位论文].西安:西安科技大学,2006.
- 2 单岩,吴立军.CAD 实用技术.北京:清华大学出版社,2004.
- 3 顾朝林,段学军,于涛方.论“数字城市”及其三维再现关键技术.地理研究,2002,21(1):14-24.
- 4 陈祝林.产品设计与三维 CAD 系统.上海:同济大学出版社, 1997.
- 5 徐青.地形三维可视化技术.北京:测绘出版社,2000.
- 6 唐泽圣.三维数据场可视化.北京:清华大学出版社,1999.
- 7 申胜利,李华.基于 ArcEngine 的 ArcGIS 与 AutoCAD 数据转换研究.测绘通报,2007(2):412-43.
- 8 朱庆.三维地理信息系统技术综述.地理信息世界,2004,2(3):8-12
- 9 朱振华,赵刚,冯强.ARCGIS 三维数字校园系统的设计与开发.软件导刊,2007,(17):23-25.
- 10 Meng KT, Wang DL, Henderson TJ. Three-Dimensional Modeling of Complex Fusion Devices Using CAD-MCNPX Interface Tautges, Laila El-Guebaly September 2004.

- 8 Meyer Y. Oscillating Patterns in Image Processing and in Some Nonlinear Evolution Equations. The Fifteenth Dean Jacquelines B Lewis Memorial Lectures. Boston: American Mathematical Society, 2001.
- 9 姚伟,孙即祥.图像去噪中的纹理保护方法研究.中国图象图形学报,2010,15(5):723-728.
- 10 Gilboa G, Sochen N, Zeevi YY. Variational denoising of partly-textured images by spatially varying constraints. IEEE Trans. on Image Processing, 2006,15(8):2281-2289.
- 11 Lysaker M, Lundervold A, Tal XC. Noise removal using fourth-order partial differential equation with applications to medical magnetic resonance images in space and time. IEEE Trans. on Image Processing, 2003,12(12):1579-1590.
- 12 马家辰,李建刚,孙明健.应用 ROF 模型的医学超声图像去噪方法.计算机工程与应用,2010,46(20):207-209.
- 13 宋锦萍,陈花竹,台雪成.一种 PDE 图像分解去噪模型及算法.中国图象图形学报,2009,14(8):1547-1552.