

基于总体方差最小消去DCT的方块效应

周昌雄, 于盛林

(南京航空航天大学自动化学院 南京 210016)

【摘要】提出基于总体方差最小消去离散余弦变换DCT的方块效应,推导出水平集方程,用最小/最大曲率流替代水平集中的平均曲率流。该方法在平滑噪声和消去方块效应的同时,能保留图像的主要结构特征。后续分割实验结果表明,该方法比均值滤波后的图像有更好的视觉和分割效果。

关键词 总体方差最小; 最小/最大曲率流; 离散余弦变换; 方块效应

中图分类号 TP391 文献标识码 A

Removing DCT Blocking Effects Based on Minimization of Total Variation

ZHOU Chang-xiong, YU Sheng-lin

(College of Automation Engineering Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016)

Abstract In this paper, minimization of total variation has been proposed via level set equation and average curvature flow has been substituted with Min/Max curvature flow. This method can preserve the main structure of image, smoothing noise and removing discrete cosine transform blocking effects. The experimental results indicate that the proposed method has better performance of vision and segmentation than average filter.

Key words minimization of total variation; Min/Max curvature flow; discrete cosine transform; blocking effect

在联合摄影专家组(Joint Photographic Experts Group, JPEG)、活动图像专家组(Moving Pictures Expert Group, MPEG)和高清晰度电视(High Definition Television, HDTV)图像压缩算法中,将输入图像分解为 8×8 的图像块,然后对每个图像块进行二维离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)变换,将变换得到的量化DCT系数进行编码和传送,形成压缩后的图像格式^[1]。在接收端,将量化的DCT系数进行解码,并对每个 8×8 块进行二维DCT反变换,将操作完成后的块组成一个整幅图像。对一幅图像而言,大多数DCT系数值非常小甚至接近于0值,舍弃接近0值的DCT系数能达到压缩的目的。由于DCT变换是分块进行的,在重构图像时,会出现方块效应。均值滤波对平滑图像的方块效应效果并不理想,若多次使用均值滤波虽然能起到平滑图像方块效应的作用,但在减小方块效应的同时也损失了图像的线条和边界等细节成分。非线性异向扩散方程可保留图像的边界细节成份,文献[2]将此应用于图像边缘检测和图像恢复,文献[3]则应用于消去图像编码的方块效应。该方法在图像的平坦区域减少了方块效应,但对图像高对比度的边界区域效果不佳。本文提出基于总体方差最小消去离散余弦变换的方块效应^[4],得到水平集方程,然后用最小/最大曲率流替代水平集中的平均曲率流^[5]。

收稿日期: 2004-10-12

作者简介: 周昌雄(1965-),男,博士生,副教授,主要从事图像处理方面的研究;于盛林(1941-),男,教授,博士生导师,主要从事信号处理,混沌分形理论及应用方面的研究。

1 总体方差

各向异性扩散滤波器可描述为：

$$df(x, y, t)/dt = \nabla \cdot (g(x, y)\nabla f(x, y))$$

式中 ∇ 为梯度算子； $\nabla \cdot$ 为散度算子； $g(x, y)$ 为扩散系数，当 $g(x, y)$ 为常数时，为各向同性热扩散方程，当 $g(x, y)$ 随图像像素点 (x, y) 变化时，则为各向异性扩散方程。一般取：

$$g(x, y) = 1/(1 + |\nabla f(x, y)|^2)$$

在平坦区域 $\nabla f(x, y)$ 接近0，则 $g(x, y) = 1$ ；在图像高对比度的边界区域 $\nabla f(x, y)$ 很大， $g(x, y)$ 接近于0值，即 $0 < g < 1$ 。因此，各向异性扩散方向是保护图像边界的滤波器，在平坦区域内平滑噪声，同时保护图像边界的细节。设 f_0 为编码的图像， f 为滤波后的图像，定义代价函数 J 为：

$$J = \iint [\mu(f - f_0)^2 + g|\nabla f|^2] dx dy$$

式中 第1项刻画图像 $f(x, y)$ 逼近原图像 $f_0(x, y)$ 的程度，第2项描述保护图像边缘细节成份， $\mu > 0$ ， $0 < g < 1$ 均为加权系数。当 $\mu = g$ 时要求逼近原图像和保护图像边缘细节取同等重要地位；当 $\mu = 0$ 时只保护图像边缘细节而不对逼近原图像作任何要求；当 μ 远大于1时只要求逼近原图像而不考虑对图像边缘细节的保护。对 f 变分可得 J 的极小值：

$$\mu(f - f_0) + \nabla \cdot (g\nabla f) = 0$$

根据梯度最陡下降法得：

$$df(x, y, t)/dt = \mu(f(x, y, t) - f_0) + \nabla \cdot (g(x, y)\nabla f(x, y, t)) \quad (1)$$

式中 右边的第2项 $\nabla \cdot (g\nabla f)$ 由于具有保边界的平滑作用，当方块效应出现在边界上时，不能有效地消去方块效应，为此令 $g(x, y) = 1$ 。考虑到滤波后的图像以保护图像边缘细节为主又要兼顾逼近原图像，取 $\mu = 0.5$ ，并取 J 式右边第2项为 L_1 范数，则代价函数的第2项为总体方差(Total Variation, TV)：

$$\iint |\nabla f(x, y)| dx dy \quad (2)$$

TV最小的优点是在图像的边界处允许具有有限的不连续性。由式(2)对 f 变分得：

$$df(x, y, t)/dt = k|\nabla f(x, y, t)| \quad (3)$$

式中 k 为平均曲率，式(3)为平均曲率流滤波。其中：

$$k = (f_{xx}f_y^2 - 2f_xf_yf_{xy} + f_{yy}f_x^2)/(f_x^2 + f_y^2)^{3/2}$$

将式(3)替代式(1)右边第2项得水平集方程：

$$df(x, y, t)/dt = \mu(f(x, y, t) - f_0) + k|\nabla f(x, y, t)| \quad (4)$$

将式(4)离散化可得：

$$f_{i,j}^{t+1} = f_{i,j}^t + \Delta t(\mu(f_{i,j}^t - f_{0i,j}) + k_{i,j}^t |\nabla f_{i,j}^t|) \quad (5)$$

2 最小/最大曲率流

基于总体方差最小的式(2)虽然允许在图像的边界处为有限的不连续值，具有保护尖锐边界的能力，平均曲率流滤波器的数值解需要给出合适的迭代次数，迭代求解次数偏小，滤波效果不佳；迭代次数偏大，会使图像边界模糊。最小/最大曲率流能保护边界的主要特征，即使在过多增加迭代次数情况下，并不使图像边界模糊。

设 L 是平面上的一条闭曲线， ϕ 为平面上任一点 (x, y) 到 L 的最短距离，且规定 L 内的 ϕ 为负值， L 外的 ϕ 为正值，称 ϕ 为符号距离函数，法线方向 $\nabla \phi / |\nabla \phi|$ 向外。曲线 L 的水平集方程为：

$$\phi_t = F|\nabla \phi| \quad (6)$$

式中 符号函数 $\phi(x, y, t)$ 按水平集方程运动。求 t 时刻的零水平集，令 $\phi(x, y, t) = 0$ 为 t 时刻的闭合曲线 L 。若 ϕ 表示图像的灰度值 f ， F 为图像像素点 (x, y) 处的平均曲率 k ，则式(6)就变成式(3)。在式(6)中，当 $F = \min(k, 0)$ 时，只允许凹轮廓线向外运动，而凸轮廓线保持不动，水平集运动的结果最终表现为一个凸轮廓。相反，当 $F = \max(k, 0)$ 时，只允许凸轮廓线向内运动，同时凹轮廓线保持不动，一旦图形形成一个全凸

轮廓时, 曲率总是正的, 因此在水平集运动下, 轮廓线最终成为一个点。

根据分析可知, 当 $F = \min(k, 0)$ 时, 水平集运动能保留曲线细节成份。当 $F = \max(k, 0)$ 时, 水平集运动却损失了曲线细节信息。若把图像的强度函数视为水平集中的符号函数时, 就可应用最小/最大曲率滤波器, 平滑图像中的噪声, 同时保留图像中的细节成份。当平滑了图像中的平坦区域噪声后, 最小/最大曲率滤波器会自动停止作用, 不会随迭代次数的增加破坏图像的主要特征。

当最小/最大曲率滤波器应用到灰度图像时, 设 $Ave_{f(x,y)}^R$ 是以点 (x, y) 为中心, R 为半径范围内图像的平均强度。 $T_{\text{threshold}}$ 为垂直于梯度方向的平均强度, 一般取垂直于梯度方向 R 远处两端点的平均强度

$$F = \begin{cases} \min(k, 0) & Ave_{f(x,y)}^R < T_{\text{threshold}} \\ \max(k, 0) & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

应用热扩散理论可解释为, 当 $T_{\text{threshold}}$ 高于背景的平均值时, 光强沿垂直于梯度方向向两边扩散, 否则两边光强向中心汇聚。将式(7)替代式(4)右边第2项的平均曲率 k , 得到基于总体方差最小和最小/最大曲率流水平集为:

$$df(x, y, t) / dt = \mu(f(x, y, t) - f_0) + F |\nabla f(x, y, t)|$$

式中 F 为式(7)。

3 实验及结果

将核磁共振的脑图取 80×60 像素, 然后加入噪声, 如图 1a 所示。实验环境为 CPU AMD XP2500+ / RAM 512M / Matlab 6.5。对图 1a 作 8×8 离散余弦变换, 然后重构得图 1b, 对图 1b 作 3×3 滑动均值滤波得图 1c, 均值滤波运行时间为 0.084 s。本文算法对图 1b 消去离散余弦变换方块效应为图 1d, 其中 $\mu = 0.5$, $\Delta t = 0.0625$, 迭代次数 = 5, 算法运行时间为 0.47 s。算法运行时间虽比均值滤波运行时间长, 但滤波效果明显比均值滤波效果好, 在对运行时间要求不高而对滤波效果要求较高的场合, 可采用此算法。如远程医院就诊, 医生需要将患者的病变组织传输到外地医院进行分割, 提取组织的外形。然后采用基于 Mumford-shah 最优分割的几何活动轮廓模型分别对图 1a ~ 1d 进行分割, 得到其对应图 1e ~ 1h。

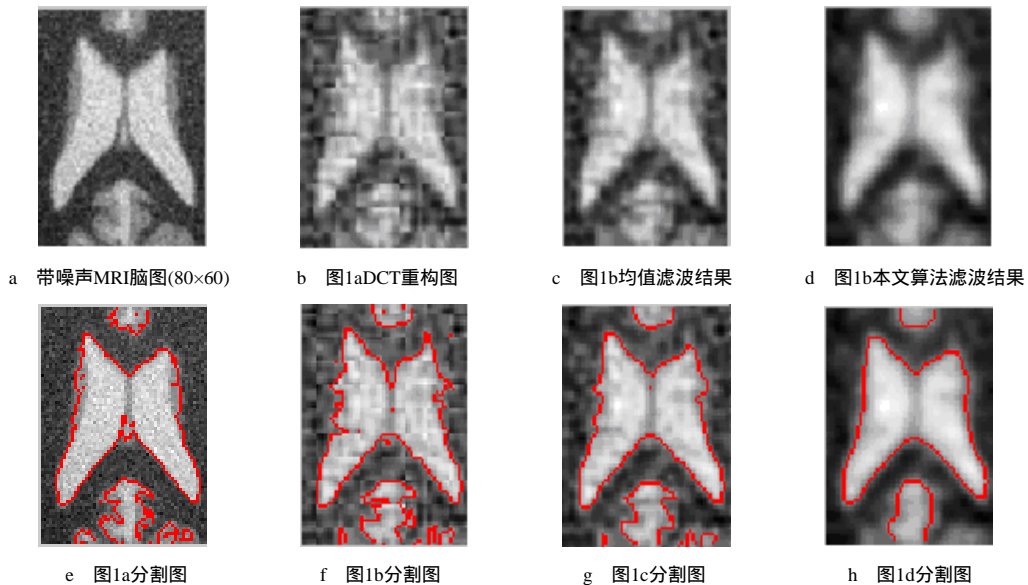


图1 离散余弦变换方块效应及平滑分割效果

从图 1b 可以看到明显的方块效应。由图 1c 可知均值滤波也能平滑图像的方块效应, 但效果并不理想。若多次使用均值滤波, 虽然能起到平滑图像方块效应的作用, 但在减小方块效应的同时也损失了图像的细节, 图 1d 的视觉效果明显好于图 1c。图 1e 到 1h 中的红色曲线为组织的外形, 人体组织的外形比较光滑且连续, 从实验来看, 图 1f 的外形锯齿形很明显, 不符合实际情况, 图 1g 组织外形锯齿状较明显, 与实际光滑连续的

外形事实有出入,图1h组织外形比较光滑且连续,符合实际情况。

总之,基于总体方差最小和最小/最大曲率流在平滑噪声和消去离散余弦变换方块效应的同时,能保留图像边界等主要结构特征。经几何活动轮廓模型分割表明,算法比均值滤波后的图像有更好的分割效果。

参 考 文 献

- [1] 余成波. 数字图像处理及MATLAB实现[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003
- [2] Norstrom N. Biased anisotropic diffusion – a unified regularization and diffusion approach to edge detection[J]. Image and Vision Computing , 1990, 8(4): 318-327
- [3] Yang S, Hu Y H. Coding artifacts removal using biased anisotropic diffusion[C]. Proceeding of the ICIP, Santa Barbara, CA, 1997,2: 346-349
- [4] Osher S, Rudin L I, Fatemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. Phys. D, 1992, 60: 259-268
- [5] Sethian J A. Level set methods and fast marching methods: evolving interface in computational geometry, fluid mechanics, computer vision, and materials science[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999

编 辑 漆 蓉

(上接第613页)

3 结 束 语

提出了利用一种特殊的天线阵列结构,对相干分布式信号源的频率和到达方向进行估计的算法。它避免了大部分高分辨率算法需要特征值分解,多维搜索等复杂的数学计算,而是采用互相关的方法,得到多个方程连列求解,最后通过解除相位模糊估计出正确的参数值。这种方法运算度大为降低,可以满足实时处理,并且不需要事先已知角信号分布的具体函数,只要求是共轭对称分布即可。仿真数据证实了本方法是有效的。

参 考 文 献

- [1] Shahbazpanahi S, Valaee S, Bastani M H. Distributed source localization using ESPRIT algorithm[J]. IEEE,Trans-SP, 2001, 10(49) : 2 169 - 2 178
- [2] Jooshik Lee, lickho Song, Hyoungmoon Kwon, et al. Low-complexity estimation of 2D DOA for coherently distributed sources[J].Signal processing, 2003, 8(83): 1 789 - 1 802
- [3] Valaee S, Champagne B, Kabal P P. Localization of distributed sources[J]. IEEE Trans-SP, 1995, 9(43): 2 144 - 2 153
- [4] Trump T, Ottersten B. Estimation of nominal direction of arrival and angular spread using an array of sensors[J]. IEEE Trans-SP, 1996, 1(45): 57 - 69

编 辑 徐安玉