

基于邻域 Mean-Shift 的彩色图像滤波算法

何希平

(重庆工商大学 计算机科学与信息工程学院, 重庆 400067)

(jsjxhp@ctbu.edu.cn)

摘要:在空间域与色彩域中分别给定移动窗口半径的适当值,把空间位置处于当前数据点的圆邻域内的色彩数据作为算法的样本数据,利用窗口半径固定且独立于空间位置的核函数对色彩数据进行均值偏移(Mean-Shift)聚类,用聚类中心更新当前位置的图像数据,克服了空间域与色彩域结合的 Mean-Shift 图像滤波模型窗口半径难于恰当选取以适应图像尺寸变化的困难。实验证明了该算法的有效性。

关键词:彩色图像滤波;Mean-Shift 算法;空间域;色彩域;窗口半径

中图分类号: TP301.6;TP391.41 **文献标志码:** A

Color image filtering algorithm based on neighborhood Mean-Shift

HE Xi-ping

(College of Computer Science and Information Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Given proper values of shift windows in spatial domain and color domain respectively, the color data were filtered by means of Mean-Shift clustering, during which the color data in the r -circular neighboring domain of current data point were used as the clustering samples. Then image data at current position were updated with the cluster center newly obtained. This algorithm overcomes the difficulty to choose proper window radius for the model of Mean-Shift filtering combining spatial domain and color domain to adopt the possible variation of image size. Finally, the experimental results verify the validity of Mean-Shift filtering.

Key words: color image filtering; Mean-Shift algorithm; spatial domain; color domain; window radius

0 引言

特征数据滤波一直是计算机视觉领域的重要研究课题之一,而统计建模方法是其最常见的实用技术。其中,无参数概率密度估计相对于用含参数函数对特征数据建模具有明显的优越性:不必事先知道特征空间数据服从的概率分布函数的形式,能较好地适应实际的计算机视觉问题所涉及的密度分布函数多变量、多峰的特点;以特征数据统计分布为匹配依据,估计结果收敛于数据,不会出现大偏差。常见的无参数估计技术有直方图法、最近邻域法和核密度估计法。核密度估计和直方图技术类似,相对于直方图法,多了一个用于平滑数据的核函数。

Mean-Shift 算法是一种计算机视觉领域优秀的密度梯度的无参数估计方法,由 Fukunaga 和 Hostetler 于 1975 年提出^[1],但直到 1995 年 Cheng 将它引入计算机视觉领域才引起国内外学者们的广泛兴趣。在文献[2]中,Cheng 对基本的 Mean-Shift 算法做了推广:首先,Cheng 定义了一族核函数,使得随着样本与被偏移点的距离不同,偏移量对均值偏移向量的贡献也不同;其次,Cheng 还设定了一个权重系数,使得不同的样本点重要性不一样,扩大了 Mean-Shift 的适用范围。

Comaniciu 和 Meer 等人^[3-5]对 Mean-Shift 算法在图像滤波、分割和跟踪中的应用都做了较早的研究。近年来,Mean-Shift 算法作为一种快速收敛的统计迭代算法,已广泛应用于

计算机视觉领域,如模式识别与聚类分析^[2]、特征空间分析^[5]、图像分割^[8-10]、滤波^[11]、信息融合^[12]等。对 Mean-Shift 的应用研究,在目标跟踪领域国内外研究者^[3-7]最多,而跟踪目标大小随时间发生变化时核函数窗口半径的自适应技术是目前的研究热点^[7,13-14]。

对 Mean-Shift 图像滤波的研究不多,仅文献[11]在空间位置与色彩数据组合形成的高维图像数据空间利用均匀核函数对图像滤波做了研究;但对于高维特征空间,该方法计算量相当大,且因图像尺寸的差异,要合理平衡空间位置与色彩值对均值偏移向量的计算结果的影响权重,也不宜用统一的核函数窗口半径及收敛容差进行迭代计算,对空间位置与色彩值使用统一的密度估计核函数也是不太恰当的。文献[15]对空间位置与色彩分别选择核函数,但大大增加了计算时间复杂性。

本文给出一种基于邻域 Mean-Shift 聚类的彩色图像滤波算法,在空间域与色彩域中分别给定移动窗口半径的适当值,把空间位置处于当前数据点的圆邻域内的色彩数据作为算法的样本数据,利用窗口半径固定且独立于空间位置的核函数对色彩数据进行 Mean-Shift 聚类,用聚类中心更新当前位置的图像数据,克服了空间域与色彩域结合的 Mean-Shift 图像滤波模型中窗口半径难于恰当选取以适应图像尺寸变化的困难,算法对目标旋转和缩放都有了一定的适应能力;同时也由于只用了一个核函数,致使迭代计算的时间复杂性大大降低。

$$\text{则: } g(x) = k'(x) = -\frac{1}{2}e^{-\frac{1}{2}x}; x \geq 0 \quad (12)$$

在目标像素 (s, r) 的邻域 $I_{s, r}$ 中对色彩域 $C_{s, r} \subset C^3$ 中数据以 c 为初始中心进行 Mean-Shift 聚类。用于彩色图像滤波的算法实现步骤如下。

- 1) 给定邻域半径 r 与核窗半径 h , 令 $i=1$ 。
- 2) 对 $x_i \in I$, 令 $x = x_i = (s, c)$ 根据 $I_{s, r}$ 确定 $C_{s, r}$ 。
- 3) 迭代计算。通过核函数计算窗口所覆盖的色彩域 $C_{s, r}$ 的质心(均值) c' 。

$$c' = \frac{\sum_{c_k \in C_{s, r}} c_k g\left(\left\|\frac{c - c_k}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{c_k \in C_{s, r}} g\left(\left\|\frac{c - c_k}{h}\right\|^2\right)} \quad (13)$$

当 $|c - c'| \geq \varepsilon$ 时, 令 $c = c'$ 反复计算式(13)。

4) 令 $x_i = (s, c')$, $i = i + 1$ 。

5) 当 $x_i \in I$ 时, 重复 2) ~ 4), 直到遍历图像数据集 I 。

3 实验与结果分析

对算法实验效果的分析, 可以通过对比分析图像的直观效果、峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)、相似系数等实现。借助于向量夹角的余弦, 用式(14)计算两幅图像的相似度 R 。

$$R = \cos \theta = \frac{I \cdot \hat{I}}{\|I\| \cdot \|\hat{I}\|} \quad (14)$$

对多幅不同尺寸的彩色图像做了多次滤波实验, 并从直观效果和定量分析两个方面验证了本文算法的有效性。

3.1 实验结果

实验时, 首先对原图像添加了高斯白噪声(均值 0, 标准差 10), 然后取 Mean-Shift 滤波的邻域半径 r 为 5, 颜色核函数窗口半径 25, 实验统计结果见表 1。

表 1 实验统计数据表

图像	大小	$PSNR_1$	$PSNR_2$	R_0	R_1
lena. bmp	512 × 512	13.6847	13.8094	0.9989	0.9971
peppers. jpg	512 × 512	12.4954	12.5955	0.9987	0.9966
oldmill. jpg	512 × 512	12.9720	12.9974	0.9964	0.9940
car. jpg	352 × 288	11.2328	11.2878	0.9988	0.9962

对应于表 1 中数据的直观图如图 2 所示。

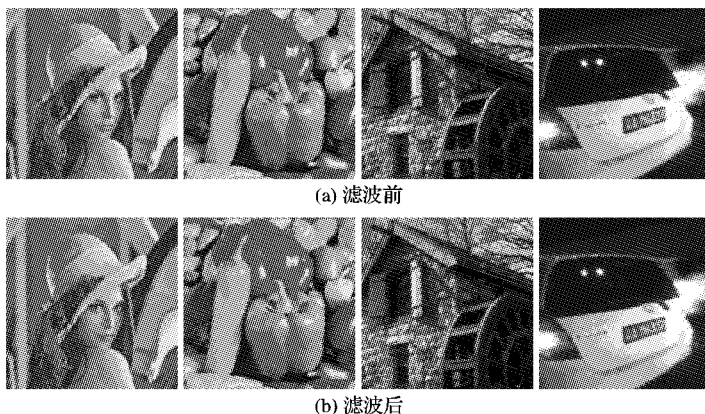


图 2 滤波前后效果对比图

表 1 中, $PSNR_1$ 与 $PSNR_2$ 分别表示噪声图像与结果图像的峰值信噪比, R_0 表示原图与滤波结果图像的相似性系数, R_1 表示噪声图像与滤波结果图像的相似性系数。

为准确分析噪声图与滤波结果图的差别, 求了两图的差, 并在直角坐标系下做出了直观图, 如图 3 所示。

同时, 为将本文算法与其他滤波算法对比, 本文选择了与高斯低通滤波算法进行对比实验(高斯滤波器标准差也取 10), 结果如图 4 及表 2 所示。

表 2 中, R_0 表示原图与滤波结果图像的相似性系数, R_1 表示噪声图像与滤波结果图像的相似性系数。

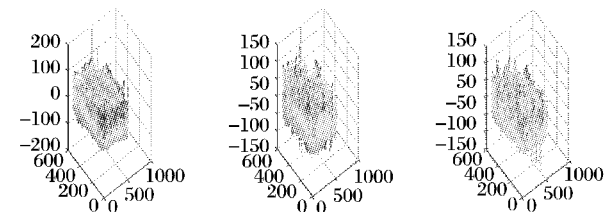


图 3 Lena 图三色平面滤波前后的差图



图 4 Lena 图滤波结果对比

表 2 Lena 图实验结果对比统计数据表

滤波算法	邻域半径	$PSNR$	R_0	R_1
Mean-Shift	5	13.8094	0.9989	0.9971
高斯低通	5	13.0677	0.9949	0.9924

3.2 结果分析

由直观效果图及 $PSNR$ 、相似系数的对比可见, Mean-Shift 滤波算法不仅能有效抑制噪声, 提高图像质量, 而且还能保持滤波结果图与原图的高度相似性, 与其他滤波算法相比, 能更好地保持图像细节(如不连续性)不被模糊。

此外, 本文对算法随核函数窗口半径的变化效果也做了对比实验。结果发现, 核函数窗口半径 h 取值越大, 滤波结果图越模糊, 但变化不显著; h 取值越小, 滤波结果图相对于噪声图的变化越不明显。邻域半径 r 越大, 算法耗时变化不明显, 但会引起结果稍微变模糊。

由于 Mean-Shift 滤波是基于密度梯度最大变化方向分析的统计方法, 虽然从效果角度看, 具有明显的优势, 但是其时间效率仍然不如传统的邻域均值滤波器, 这在一定程度上限制了它的实时应用推广。

4 结语

本文算法综合了邻域均值平滑与局部最优解的特性, 用局部收敛的最大密度数据作为滤波结果, 既平滑了尖峰噪声, 又降低了 Mean-Shift 滤波算法的时间复杂性, 克服了均值滤波器与高斯滤波器使图像变模糊

并不保持区域边缘特征的不连续性的缺陷,在高精确度的图像处理中具有明显的应用推广意义。

参考文献:

- [1] FUKANAGA K, HOSTETLER L. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21(1): 32-40.
- [2] CHENG YIZONG. Mean-Shift, mode seeking and clustering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [3] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Real-time tracking of non-rigid objects using Mean-Shift[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 142-149.
- [4] COMANICIU D, RAMESH V. Mean-Shift and optimal prediction for efficient object tracking[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 70-73.
- [5] COMANICIU D, MEER P. Mean-Shift: A robust approach towards feature space analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.
- [6] COLLINS R T. Mean-Shift blob tracking through scale space[C]// Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 18-20.
- [7] 彭宁嵩, 杨杰, 刘志, 等. Mean-Shift 跟踪算法中核函数窗宽的自动选取[J]. 软件学报, 2005, 16(9): 1542-1550.
- [8] 陈允杰, 张建伟, 王利, 等. 基于改进的 Mean-Shift 算法虚拟人脑图像分割[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(1): 55-60.
- [9] 汤杨, 潘志庚, 汤敏, 等. 基于分级 Mean-Shift 的图像分割算法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(9): 1424-1431.
- [10] 廖建勇, 郭斯羽, 黄梓效. 基于 Mean-Shift 聚类的最大熵图像分割方法[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 187-189.
- [11] COMANICIU D, MEER P. Mean-Shift analysis and applications[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999: 1197-1203.
- [12] COMANICIU D. Nonparametric information fusion for motion estimation[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 59-66.
- [13] 覃剑, 曾孝平, 李勇明. 基于边界力的 Mean-Shift 核窗宽自适应算法[J]. 软件学报, 2009, 20(7): 1726-1734.
- [14] 耿振伟, 栗毅, 郁文贤. 一种快速自适应的均值漂移聚类算法[J]. 信号处理, 2009, 25(1): 153-156.
- [15] SUBBARAO R, MEER P. Nonlinear Mean-Shift over riemannian manifolds[J]. International Journal of Computer Vision, 2009, 84(1): 1-20.

(上接第385页)

所以不论是从图像的质量还是从保边缘平滑的结果,改进方法比 LIP_TV 方法都有很大程度的提高。

4 结语

基于偏微分方程的图像去噪方法是近年来研究的热点,而基于 LIP 的偏微分方程去噪方法还很少有人研究,本文对当前优秀的 LIP_TV 方法进行改进。该改进方法有如下优点:

1) 将4方向导数信息引入到 LIP 梯度算子中,得到了一个新的 LIP 梯度算子,对图像的信息度量更加客观全面,从而更好地控制扩散过程;

2) 通过对保真项系数进行改进,进一步保持了图像的边缘细节并避免了人为地估计噪声水平。理论分析和实验结果均表明,改进方法既能充分抑制噪声,又能更好地保持图像边缘细节特征,在视觉效果和客观评价指标上都具有明显优势。

参考文献:

- [1] PERONA P, MALIK J. Scale space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629-639.
- [2] RUDIN L, OSHER S, FATEMI E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. Physica D, 1992, 60(1/4): 259-268.
- [3] 贾迪野, 黄凤岗, 苏茜. 一种新的基于高阶非线性扩散的图像平滑方法[J]. 计算机学报, 2005, 28(5): 882-891.
- [4] 陈波, 张立伟. 对称四阶偏微分方程去噪算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(13): 188-189.
- [5] 杜宏伟. 基于偏微分方程的图像去噪综合模型[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(20): 198-201.
- [6] 蒋伟, 胡学刚. 一种基于 LIP 的 PDE 图像复原新模型[J]. 计算机应用, 2008, 28(6): 1520-1522.
- [7] JOURLIN M, PHINOLI J C. A model for logarithmic image processing[J]. Mierose, 1988, 149(1): 22-35.
- [8] 谢美华. 基于四方向导数信息的图像非线性扩散去噪[J]. 红外技术, 2004, 26(6): 51-53.
- [9] PINOLI J C. Modelisation and traitement des image logarithmiques: Theorie and applications fondamentales, Report No.6[R]. Saint-Etienne: University of Saint-Etienne, Department of Mathematics, 1992.
- [10] ANDERSON G L, NETRAVALI A N. Image restoration based on a subjective criterion[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1976, SMC-6: 845-853.
- [11] KARUILLASEKERA S A, KINGSBURY N G. A distortion measure for blocking artifacts in images based on human visual sensitivity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(6): 713-724.
- [12] 陈一虎, 叶正麟. 一种改进的各向异性扩散图像去噪方法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(13): 170-172.
- [13] 余庆军, 谢胜利. 基于人类视觉系统的各向异性扩散图像平滑方法[J]. 电子学报, 2004, 32(1): 17-20.
- [14] KATSAGGELOS A K, BIEMOND J, SCHAFER R W, et al. A regularized iterative image restoration algorithm[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, 39(4): 914-929.