

基于局部方差的自蛇模型平滑毫米波图像

周昌雄¹, 苏品刚¹, 马国军²

(1 苏州市职业大学 电子信息工程系, 江苏 苏州 512104; 2 江苏科技大学 电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

摘 要: 针对毫米波图像数据量少和图像分辨率低的特点, 提出基于局部方差自蛇模型平滑毫米波图像的方法. 3×3 窗口内的局部方差使毫米波图像在边缘和细节附近, 其边缘停止函数接近为 0, 执行较小的平滑; 在区域内部其边缘停止函数接近为 1, 进行较大的平滑, 从而能够自适应地控制平滑过程. 实验结果表明, 所提出的平滑方法与传统自蛇模型相比, 在消除噪声的同时更能够保留图像中的边缘和细节特征.

关键词: 自蛇模型; 毫米波图像滤波; 局部方差

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)10-0157-04

An Improved Self-snake Model Based on Local Variance for Millimeter-wave Smoothing

ZHOU Chang-xiong¹, SU Pin-gang¹, MA Guo-jun²

(1 Department of Electronic and Information Engineering, Suzhou Vocational University, Suzhou 215104, China;

2 School of Electronics and Information University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: Due to the major drawback of the millimeter-wave image having a fewer data and lower resolution, an improved self-snake model based on local variance is proposed for its smoothing. This method uses the local variance of window 3×3 to construct edge stopping function that is approximated to zero around fine structures and is close to one in the interior of homogeneous regions. Here the filtering process could be better control by constraining smoothing in regions with fine details while permitting effective smoothing in the interior of homogeneous. Comparative experiments certify that the proposed algorithm outperforms the corresponding conventional self-snake methods in terms of noise removal and feature preservation.

Key words: self-snake model; millimeter-wave image filtering; local variance

1 引言

图像的平滑是图像处理技术的重要环节, 平滑的目的是消除噪声, 以便于进一步处理. 因为噪声和边缘同属于高频信息, 传统的线性滤波技术在滤除噪声的同时往往会模糊边缘, 使得图像质量得不到很好的改善. 一种好的图像平滑技术应该在滤除噪声的同时保留重要的边缘信息, 非线性滤波因其在保留图像边缘和消除噪声方面的良好性质而得到研究人员的关注, 其中以 Perona 和 Malik 提出的各向

异性扩散模型(P-M)最具代表性^[1-3]. 它将图像处理转化为对偏微分方程(PDE)的求解, 对区域内和区域间采取不同的滤波策略, 其主要思想是在滤波的过程中引入了边缘检测的步骤, 这样能兼顾平滑和保留边界. 数学研究表明, P-M 模型对给定的初值问题可能是病态的, 文献[4]对 P-M 模型进行正则化, 将高斯平滑引入到扩散过程的控制函数中, 以减小噪声影响和改善方程的适定性. 此后人们在他们的基础上提出了不同的算法, 设计合适的扩散系数来控制扩散方程的扩散行为^[5-7]. 余庆军

收稿日期: 2011-04-30; **修回日期:** 2011-06-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(60970058); 江苏省自然科学基金项目(BK2009131); 苏州市职业大学创新团队建设项目(3100125); 江苏省青蓝工程项目

等将人类视觉特性引入扩散模型^[8],把噪声可见度函数作为扩散系数,并将局部方差用来度量空间细节,提出一种基于人类视觉系统的各向异性扩散图像平滑方法.随后,孟祥林也提出了类似的基于视觉掩蔽效应的图像扩散方法^[9].

为了保护图像边缘,要求扩散方向只沿着平行于边缘的切线方向,即垂直于图像梯度矢量方向进行,于是提出了方向扩散方程^[10].自蛇模型与方向扩散类似,它由带有边缘停止函数的方向扩散项和具有图像增强功能的冲击滤波器两项组成^[11].本文将度量空间细节的局部方差作为边缘停止函数,提出基于局部方差的自蛇模型,并应用于平滑毫米波图像.

2 基于局部方差的自蛇模型图像滤波

2.1 蛇模型

基于自蛇模型图像滤波方程如下^[11]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(g(|\nabla u|)\nabla u/|\nabla u|)|\nabla u| \quad (1)$$

式中, u 为图像的灰度值,div 为散度.将式(1)展开为

$$\frac{\partial u}{\partial t} = g(|\nabla u|)\text{div}\left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|}\right)|\nabla u| + \nabla g(|\nabla u|) \cdot \nabla u \quad (2)$$

第一项为带有边缘停止函数 $g(|\nabla u|)$ 的方向扩散 F_{diff} ,第二项具有图像增强功能的冲击滤波器 F_{diff} .边缘停止函数 $g(|\nabla u|)$ 的一般表达式为

$$g(|\nabla u|) = 1/((|\nabla u|/k_1)^2 + 1) \quad (3)$$

k_1 为常数,在图像平坦区域其梯度很小,边缘停止函数近似为 1,在边缘处梯度很大,边缘停止函数近似为 0,这样带有边缘停止函数能更好地保持边缘的锐度.

2.2 基于局部方差自蛇模型

在式(1)中,若 g 恒等于 1,它是标准的方向扩散(算法 1),图像的噪声在任何地方都沿垂直于图像梯度矢量方向扩散,以相同强度平滑图像;若 g 取式(3),带有边缘停止函数的方向扩散(算法 2)能更好地保持边缘的锐度.由于式(3)是梯度的函数,对于图像的灰度变化过于敏感,当噪声梯度与边缘梯度大小相近,或图像的分辨率较低时,不能有效地滤除噪声,反而使图像边缘模糊.针对上述情况,本文将度量空间细节的局部方差作为边缘停止函数,即

$$g(\text{var}) = 1/(\text{var}/k_2 + 1) \quad (4)$$

k_2 为常数,var 是局部方差,其计算如下:

$$\text{var}(i,j) = \frac{\sum_{m=i-P}^{i+P} \sum_{n=j-Q}^{j+Q} [u(m,n) - \bar{u}(i,j)]^2}{(2P+1)(2Q+1)} \quad (5)$$

P 和 Q 是计算局部方差时的矩形窗口长、宽两方向半径, $\bar{u}$ 为窗口内图像灰度的均值.

$$\bar{u}(i,j) = \frac{\sum_{m=i-P}^{i+P} \sum_{n=j-Q}^{j+Q} u(m,n)}{(2P+1)(2Q+1)} \quad (6)$$

本文提出的基于局部方差自蛇模型(本文算法)重写如下:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(g(\text{var})\nabla u/|\nabla u|)|\nabla u| \quad (7)$$

2.3 数字方案

为得到式(6)稳定的数字解,将散度 div 半点离散化并记为 $s_{i,j}$:

$$s_{i,j} = \text{div}(g(\text{var})\frac{\nabla u}{|\nabla u|})_{i,j} \quad (8)$$

式(6)Hamilton-Jacobi 方程采用迎风差分方案如下:

$$u_{i,j}^{n+1} = u_{i,j}^n + \tau(\max(s_{i,j}, 0)\nabla_{i,j}^- + \min(s_{i,j}, 0)\nabla_{i,j}^+) \quad (9)$$

式中, τ 为时间步长,取值应满足 CFL 条件, $\nabla_{i,j}^+$ 和 $\nabla_{i,j}^-$ 分别为

$$\nabla_{i,j}^+ = \left\{ \begin{aligned} &[\max^2(u_{i,j-\frac{1}{2}}, 0) + \min^2(u_{i,j+\frac{1}{2}}, 0)]^{\frac{1}{2}} + \\ &[\max^2(u_{i-\frac{1}{2},j}, 0) + \min^2(u_{i+\frac{1}{2},j}, 0)]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\nabla_{i,j}^- = \left\{ \begin{aligned} &[\max^2(u_{i,j+\frac{1}{2}}, 0) + \min^2(u_{i,j-\frac{1}{2}}, 0)]^{\frac{1}{2}} + \\ &[\max^2(u_{i+\frac{1}{2},j}, 0) + \min^2(u_{i-\frac{1}{2},j}, 0)]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

3 毫米波图像实验与讨论

基于自蛇模型图像毫米波成像是电磁波理论和光学成像理论结合延伸出来的应用技术.毫米波图像相对光学和红外光学图像,具有对人体安全伤害小,探测深度大,受衣服材质影响低的优势,目前广泛应用于射电天文、危险品检查等领域.但是毫米波成像所需设备相对体积较大、图像分辨率相对较低,并时常伴随较大的噪声.在平滑噪声的同时,尽量保持图像边缘的锐度是一个重要的研究课题.

图 1 取自文献^[12]的毫米波图像及三种平滑图像,在实验中, $\tau = 0.05$, $k_1 = k_2 = 1000$,迭代次数为 5 次.图 1(a) 为原手枪毫米波图像,其大小为 $41 \times$

41,图像分辨率相对较低,并且噪声梯度与边缘梯度大小相近;图1(b)为采用标准的方向扩散(算法1)所得平滑图像,图1(c)为采用自蛇模型(算法2),即带有边缘停止函数的方向扩散所得平滑图像;图1(d)采用基于局部方差自蛇模型(本文算法)所得平滑图像.从图1(b)和图1(c)可看到,虽然图像噪声得到抑制,但手枪扳机区域的边缘已被模糊.由图1(d)可知,本文算法在抑制图像噪声的同时,手枪扳机区域的边缘较清晰.

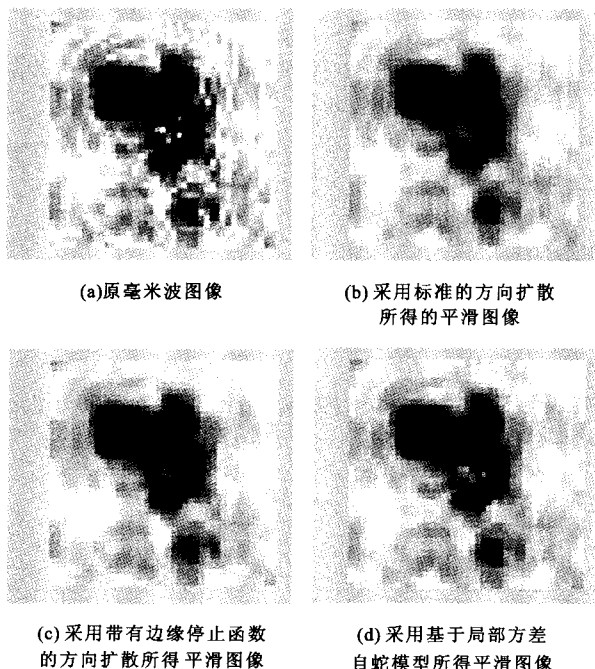


图1 毫米波图像及三种平滑图像

图2为图1毫米波图像第二十行的灰度分布.从图2(a)可见,左右两端平坦区域的噪声梯度与中间扳机区域边缘梯度大小相近,自蛇模型的边缘停止函数接近为1,所以在抑制噪声的同时,枪扳机区域的边缘已被平滑,与图2(b)和图2(c)现象相符合.本文局部方差采用 3×3 窗口,由于图像分辨率较低,手枪毫米波图像扳机区域边缘的局部方差较大,而两端平坦区域的噪声的局部方差较小.因此,边缘区域停止函数接近为0,较平坦区域停止函数接近为1,方向扩散主要发生在平坦区域,所以,本文提出的基于局部方差自蛇模型,不仅能平滑噪声,而且能尽量保持图像边缘的锐度,与图2(d)现象相符合.

为定量评价算法性能,引入等效视数ENL和边缘保持指数EKI,分别定义如下:

$$ENL = \bar{u}^2(i, j) / \text{var}(i, j) \quad (12)$$

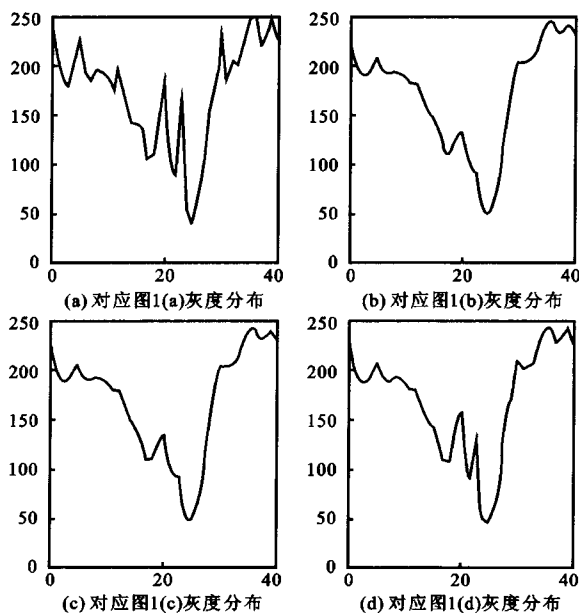


图2 手枪毫米波图像及平滑图像第二十行的灰度分布

$$EKI = \sum_{i,j=m_1,n_1}^{m_2,n_2} |\nabla u(i, j)| / \sum_{i,j=m_1,n_1}^{m_2,n_2} |\nabla u^0(i, j)| \quad (13)$$

等效视数越大抑制噪声能力越强,反之抑制噪声能力越差.式(12)中 u^0 为原图像的灰度值, u 为经各种算法平滑后的图像, m_1, n_1, m_2, n_2 为窗口坐标.边缘保持指数取值越大表明边缘保持越好.表1为图1中的第二十行,从第2列到12列的等效视数,以及从第15列到25列的边缘保持指数.从表1可知,算法1、算法2和本文算法的等效视数是原图的等效视数的3倍多,即去噪效果明显,并且本文算法的等效视数与前面两种算法的等效视数相差不多.算法1和算法2边缘保指数相近,而本文算法的边缘保指数比前面两种算法的边缘保持指数高出0.2,本文算法在扳机区域边缘保持效果明显,与图1(d)、图2(d)现象相符.

表1 等效视数和边缘保持指数

	原图	算法1	算法2	本文算法
等效视数	211.049 5	673.572 5	673.011 0	670.775 3
边缘保持指数		0.521 8	0.537 5	0.758 5

4 结束语

针对毫米波图像数据量少、图像分辨率低和噪声梯度与边缘梯度大小相近的特点,提出基于局部方差自蛇模型平滑毫米波图像的方法.由于 3×3 窗口内的局部方差,使手枪扳机区域以及手枪轮廓边缘区域的停止函数接近为0,而其他较平坦区域的

停止函数接近为 1. 实验表明, 本文算法在平坦区域的等效视数是原图像等效视数的 3 倍, 与算法 1 和算法 2 相近, 说明它们在平坦区域都具有很好的滤波效果; 本文算法在手枪扳机区域以及轮廓边缘区域的边缘保持指数达到 0.758 5, 高于算法 1 和算法 2 边缘保持指数约 0.2, 说明本文算法具有良好的保持边缘的特性. 因此, 本文算法在有效地滤除噪声的同时, 也能很好地保持边缘的锐度.

参考文献:

- [1] Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629-639.
- [2] 钱惠敏, 茅耀斌, 王执铨. 基于各向异性扩散的几种平滑算法比较及改进[J]. 南京理工大学学报, 2007, 31(5): 606-610.
- [3] 郭茂银, 田有先. 基于四阶偏微分方程的并行图像去噪算法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(2): 162-165.
- [4] Catte F, Lions P L, Morel J M, et al Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion[J]. SIAM J Number Anal, 1992(29): 182-193
- [5] 王志明, 张丽. 局部结构自适应的图像扩散[J]. 自动化学报, 2009, 35(3): 244-250.
- [6] 王毅, 牛瑞卿, 喻鑫, 等. 基于时间变化的鲁棒各向异性扩散[J]. 自动化学报, 2009, 35(9): 1253-1256.
- [7] 林宙辰, 石青云. 一个能去噪和保持真实感的各向异性扩散方程[J]. 计算机学报, 1999, 22(11): 1134-1137.
- [8] 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.
- [9] 孟祥林, 王正志. 基于视觉掩蔽效应的图像扩散[J]. 自动化学报, 2011, 37(1): 21-27.
- [10] 周浩, 晏小飞. 基于改进“自蛇”模型的图像去噪方法[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(2): 516-518.
- [11] 王大凯, 侯榆青, 彭进业. 图像处理的偏微分方程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [12] 苏品刚, 王宗新, 徐正宇. 毫米波焦平面成像系统[J]. 苏州市职业大学学报, 2008, 19(1): 70-73.

作者简介:

周昌雄 男, (1965-), 博士, 教授. 研究方向为图像处理.
苏品刚 男 (1971-), 硕士, 副教授. 研究方向为毫米波技术.
马国军 男 (1976-), 博士研究生, 讲师. 研究方向为图像处理.

(上接第 156 页)

参考文献:

- [1] 沈玉龙. 无线传感器网络数据传输及安全技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.
- [2] 贾建坤. 分布式移动数据库查询处理技术的研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2006.
- [3] 李志宇, 史浩山. 一种基于网格和移动代理的无线传感器网络数据融合算法[J]. 传感技术学报, 2008, (21): 7: 1232-1236.
- [4] Muhammad U, Lars K, Egemen T. Optimizing query processing using selectivity-awareness in Wireless Sensor Networks[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2009, 33(3): 79-89.
- [5] Calermek I, Ramesh G, Deborah E, et al. Directed diffusion for wireless sensor networking[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 11(1): 2-16.
- [6] Ye F, Luo H, Cheng J, et al. A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 8th annual international Conference on Mobile Computing and networking. NY, USA: ACM, 2002.
- [7] Yih C, Johnson DB, Perrig A. SEAD: secure efficient distance vector routing for mobile wireless ad hoc networks [C]//Proceedings Fourth IEEE Workshop Mobile Computing Systems and Applications. [s. l.]: IEEE, 2002: 3-13.
- [8] 伊莉娜. 基于 Agent 的移动查询技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2008.

作者简介:

刘一新 男, (1965-), 高工. 研究方向为数据挖掘.
张磊 男, (1977-), 博士, 副教授. 研究方向为数据挖掘.
李帆 男, (1986-), 硕士研究生. 研究方向为知识发现与数据挖掘.