

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0012.003

基于边缘图的梯度域图像融合方法研究*

杨辉军

(安徽国际商务职业学院 信息服务系,合肥 230051)

摘要:梯度域图像融合通过最小化融合图像的梯度场与融合梯度场之间距离求得融合图像,融合梯度场的准确性直接决定融合图像质量;由于源图像信息之间存在互补性,基于结构张量的梯度融合方法得到的融合梯度场的准确性不高,为保证融合图像质量,重构时需要添加其它感知项进行校正;提出了一种基于边缘图的梯度场融合方法,在边缘像素处以梯度值为权重进行加权融合,在非边缘像素处采用梯度值取大规则进行融合;实验结果表明:梯度场融合方法得到的融合梯度场准确性高,重构的融合图像具有满意的视觉质量和客观评价成绩。

关键词:图像融合;梯度场;结构张量;边缘图;感知项

中图分类号:TP391.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-058X(2015)12-0014-05

梯度域图像处理技术首先修改已知图像的梯度场得到一个新的梯度场,然后强制目标图像的梯度场逼近新的梯度场以重构目标图像。与空间域和变换域处理技术相比,梯度域图像处理技术能得到更好的处理效果,在图像编辑^[1]、阴影去除^[2]、图像抠图^[3]等图像处理任务中得到广泛应用,这些应用处理单幅图像,已有学者在梯度域开展图像融合研究^[4,5],研究采用基于结构张量的方式计算融合梯度场,由于计算方式未能充分考虑源图像之间的互补性,导致其融合梯度场准确性低,在重构融合图像时需要增加视觉感知项进行校正,融合图像的重构演变为最小化包括距离项(融合梯度场与融合图像的梯度场之间的距离)和视觉感知项的能量泛函,在求解融合图像需要通过实验方式确定时间步长等相关参数,参数设置是否合理对融合图像质量有着直接的影响,另外,通过实验方式确定的参数缺乏自适应性,在实际应用中还需要针对源图像调整参数。为此,设计一种基于边缘图的梯度场直接融合方法,方法在边缘图的引导下,直接融合源图像的梯度场得到融合梯度场,提高了融合梯度场的准确性,可直接求解泊松方程得到融合图像,避免了在变分框架下最小化能量泛函时难以确定最佳参数的问题。

1 梯度域图像融合

1.1 梯度域图像融合流程

如图 1 所示,在梯度域进行图像融合需要经历计算、融合、重构。计算是求源图像的梯度场;图像融合采用一定的融合规则组合源图像梯度场得到融合梯度场;重构是利用融合梯度场,采用特定算法求解融合图像。

收稿日期:2015-02-20;修回日期:2015-04-20.

* 基金项目:安徽省 2014 年度教育振兴计划高职专业带头人资助项目;安徽省 2014 年度重大教学改革研究项目(2014zdjy177).

作者简介:杨辉军(1973-),男,安徽岳西人,副教授,博士研究生,从事图像处理、智慧学习环境研究.

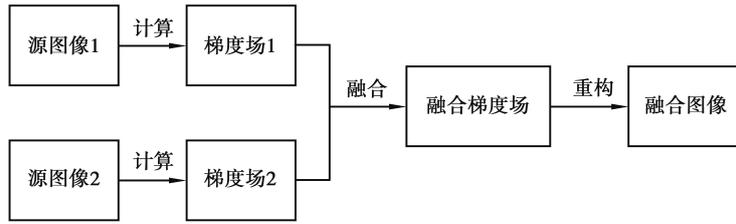


图 1 梯度域图像融合

在融合梯度场上重构融合图像,需要求解式所示的最小化问题。

$$\min_F \iint_{\Omega} \|\nabla F - V\|^2 dx dy \quad (1)$$

式(1)中: Ω 为图像区域, ∇ 为梯度算子, F 为融合图像, V 为融合梯度场。式(1)对应的 Eule-Lagrange 的泊松方程:

$$\begin{cases} \nabla^2 F = \text{div}(V) & \text{on } \Omega \\ \nabla F \cdot \vec{n} = 0 & \text{on } \partial\Omega \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中 ∇^2 和 div 分别为拉普拉斯算子和散度算子, \vec{n} 为图像区域的外法线方向。

从上述的梯度域融合过程可以看出融合梯度场 V 的准确性直接决定最终的融合结果的好坏,因此,梯度场的融合方法至关重要。

1.2 梯度场融合方法

1.2.1 基于结构张量的梯度场融合

将源图像作为多通道图像 I 的分量图像,如果有 N 幅源图像 $I_k(k=1,2,\dots,N)$,则 I 可表示为

$$I(x,y) = (I_1(x,y), I_2(x,y), \dots, I_N(x,y)) \quad (3)$$

然后在 (x,y) 处按照式(3)计算其结构张量^[6]:

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial I_i}{\partial x}\right)^2 & \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial I_i}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial I_i}{\partial y}\right) \\ \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial I_i}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial I_i}{\partial y}\right) & \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial I_i}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

用 $\lambda_1, \lambda_2(\lambda_1 > \lambda_2)$ 表示矩阵 A 的特征值, λ_1, λ_2 分别表征图像 I 在 (x,y) 处的最大和最小变化率,其对应的特征向量分别表示变化方向。基于结构张量的梯度场融合方法取 λ_1 对应的特征向量作为 (x,y) 处的融合梯度:

$$V = \frac{\lambda_1}{\sqrt{4f^2 + ((g-e) + \sqrt{(e-g)^2 + 4f^2})^2}} \times \begin{pmatrix} 2f \\ (g-e) + \sqrt{(e-g)^2 + 4f^2} \end{pmatrix} \quad (5)$$

1.2.2 基于边缘图的梯度融合

上述基于结构张量的梯度融合方法充分利用了多幅图像之间的相关性,而多源传感器图像之间往往存在很强的互补性,采用基于结构张量的融合方式淡化了这种互补性,导致融合的梯度场准确性不高,通过式重构融合图像时,需要添加视觉感知项进行校正以保障融合图像质量,为此,采用直接组合源图像梯度场的方式得到融合梯度场 V ,其组合粒度可以是像素或图像,为提高融合梯度场的准确性,在边缘图的指导下进行梯度融合,首先计算所有源图像的边缘图 $e_i(i=1,2,\dots,N)$, N 为源图像数量,在多数情况下 $N=2$,然后按照如下规则以像素单位融合梯度场:

(1) 在像素位置 (x,y) 处,若像素在多个边缘图中是边缘点,则按照式计算融合梯度:

$$V(x, y) = \frac{\sum_{e_i \in \varphi} |\nabla I_i(x, y)| |\nabla I_i(x, y)|}{\sum_{e_i \in \varphi} |\nabla I_i(x, y)| + \varepsilon} \quad (6)$$

这里采用加权融合可以防止像素点在一个源图像中是边缘点,而在其他源图像中不是边缘点的情况下,在融合图像中出现假边缘现象,如果位置像素在多幅源图像中均为边缘点,则可以保证像素在融合图像中也是边缘点。

(2) 在位置 (x, y) 处,像素在所有边缘图中为非边缘点,则按照式和计算融合梯度:

$$\text{index} = \max_index(|\nabla I_1(x, y)|, \dots, |\nabla I_N(x, y)|) \quad (7)$$

$$V(x, y) = \nabla I_{\text{index}}(x, y) \quad (8)$$

式(7)中 \max_index 返回具有最大梯度模值的图像索引。融合规则实质是梯度模取大,将梯度模最大的梯度保留到融合梯度场中,采用规则可以将源图像平滑区域中的微小细节保留到融合图像中。

2 实验仿真

2.1 实验设置

衡量融合图像质量,需要从主观视觉质量和客观指标值两个方面进行比较,主观视觉质量评价主要从图像的亮度范围、清晰度和对比度等方面比较融合图像质量,客观指标值则可以排除主观因素,量化融合图像质量,选用 5 个客观评价指标:通用图像质量指标(Universal Image Quality Index, UIQI)^[7],加权融合质量指标(Weighted Fusion Quality Index, WFQI)^[7],边缘融合质量指标(Edge-dependent Fusion Quality Index, EFQI)^[7],互信息(Mutual Information, MI)^[8],视觉信息保真度(Visual Information Fidelity, VIF)^[9]作为客观评价指标,这些指标均为高优指标,从不同方面衡量融合图像质量。

为检验融合方法的有效性,需要将方法的融合结果和其它方法的融合结果进行比较,选用基于多分辨率分析的融合方法作为被比较的方法,包括离散小波变换(Discrete Wavelet Transform, DWT)^[10],双树复小波变换(Dual-tree Complex Wavelet Transform, DTCWT)^[11],曲波变换(Curvelet Transform, CVT)^[12],非下采样轮廓波变换(Non-sampled contourlet Transform, NSCT)^[13]。这些被比较的方法设置分解层数 $L=3$,采用平均融合规则融合最粗尺度系数,采用绝对值取大规则进行融合较细尺度系数。对 CVT 和 NSCT 方法而言,各层的方向数分别为 4,4,8。

2.2 实验结果

实验 1

源图像为可见光和红外图像,图 2 显示了各种方法的融合结果。从图 2(d) 可以看到:融合图像在红外目标处,只有初略的目标轮廓,完全丢失了源图像中的目标亮度信息,可见光图像中的树丛,栅栏在融合图像也完全丢失。图 2(c) 的亮度范围,对比度非常接近于图 2(a),说明方法很好地保留了可见光图像的细节信息,也可看到图 2(c) 中的红外目标轮廓清晰,只是目标亮度比源图像中目标亮度稍低,图 2(c) 和图 2(d) 的视觉质量差异说明:梯度场融合方法与基于结构张量的融合方法相比,得到的融合梯度场更准确,无需在式中添加其他视觉感知项进行校正。比较方法与其他融合方法(图 2(e)-(h)) 的融合结果,可以看出:方法的红外目标亮度最接近红外图像,山丘上树丛也最接近可见光图像,说明方法在保留可见光图像的细节信息和红外目标信息方面均优于其它方法;另外,方法融合的红外目标周围没有黑色鬼影,而在 DWT, DTCWT, NSCT 方法融合的红外目标周围存在不同程度的黑色鬼影,说明梯度域融合方法能消除变换域方法在目标边界过渡不自然的现象,改善了融合图像的视觉质量。进一步的客观评价见表 1,从表 1 中可以看出方法在各项指标上都高于其它方法,这和主观视觉感知效果一致。

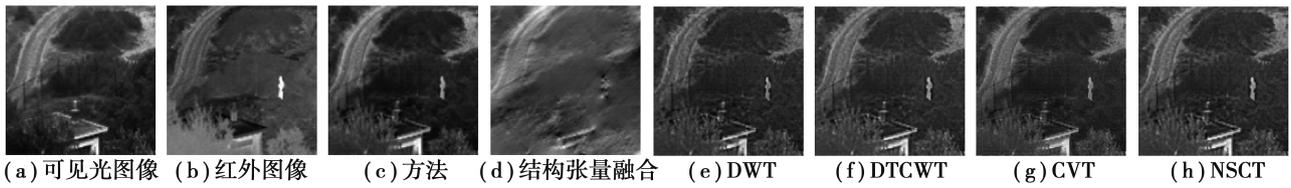


图 2 实验 1 融合结果

表 1 实验 1 融合质量定量比较

Method	UIQI	WFQI	EFQI	VIF	MI
DWT	0.533 2	0.550 2	0.369 0	0.188 4	0.774 1
DTCWT	0.563 4	0.584 7	0.403 0	0.212 2	0.813 3
NSCT	0.575 9	0.599 4	0.415 2	0.214 0	0.815 7
CVT	0.589 8	0.618 0	0.425 0	0.202 4	0.823 1
方法	0.602 1	0.657 8	0.457 3	0.239 4	0.926 7

实验 2

源图像为医学图像,图 3 展示了各种方法的融合结果。与实验一结果类似,基于结构张量的融合梯度场得到的融合图像质量明显低于方法。方法的融合结果与其它基于多分辨率分析的融合方法的结果相比,在保持 MRI 图像的明亮部分方面占优势,从而图像的整体对比度更好。融合质量的客观评价见表 2,在表 2 中可以看出方法除了在 MI 指标上比 CVT 方法略低一点以外,在其它指标上都明显好于其它方法。

分析提出的融合方案、比较实验结果,可以看到的基于边缘图的梯度场融合方法:能得到准确的融合梯度场,重构融合图像时无需额外的校正处理,在一定程度上降低计算量;能有效融合互补信息的梯度,从而保证源图像的显著信息成功转移到融合图像;消除基于多分辨率分析的融合方法存在的鬼影效应,实现无缝融合。

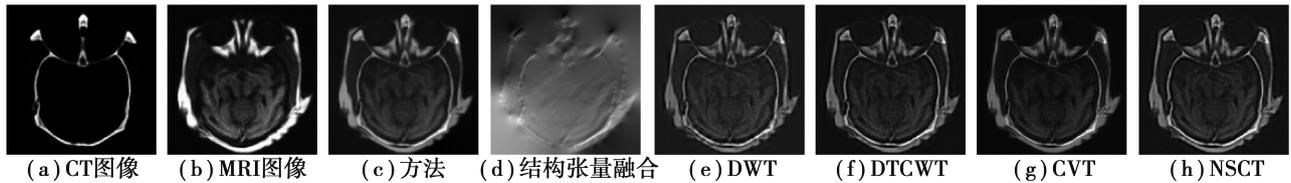


图 3 实验 2 融合结果

表 2 实验 2 融合质量定量比较

Method	UIQI	WFQI	EFQI	VIF	MI
DWT	0.266 8	0.309 1	0.115 7	0.240 6	1.232 0
DTCWT	0.338 5	0.390 3	0.183 0	0.261 4	1.275 0
NSCT	0.348 6	0.407 5	0.195 9	0.267 2	1.287 2
CVT	0.375 1	0.426 7	0.200 2	0.292 2	1.536 1
方法	0.414 6	0.506 4	0.232 0	0.353 0	1.526 0

3 结束语

在梯度域设计了一种图像融合方法,充分考虑源图像信息之间的互补性,在边缘图的指导下融合源图像的梯度场,然后从融合梯度场重构融合图像。实验结果表明:提出的融合方法能得到满意的融合结果,间接证实了梯度场融合方法能得到高准确性的融合梯度场。在今后的研究工作中,可改进梯度场的融合规

则,进一步提高融合梯度场的准确性。

参考文献:

- [1] PEREZ P, GANGNET M, BLAKE A. Poisson Image Editing[J]. ACM Transactions on Graphics-Proceedings of Acm Siggraph, 2003, 22(3): 313-318
- [2] FINLAYSON G, HORDLEY S, DREW M S. Removing Shadows from Images; Proceedings of 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark, 2002[C] // Springer, 2002: 823-836
- [3] SUN J, TANG J, SHUM H Y. Poisson Matting[J]. ACM Transactions on Graphics-Proceedings of ACM SIGGRAPH, 2004, 23(3): 315-321
- [4] SOCOLINSKY D A, WOLFF L B. Multispectral Image Visualization Through First-order Fusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(8): 923-931
- [5] CHAO W, ZHONG F Y. Perceptual Contrast-Based Image Fusion: A Variational Approach[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(2): 132-137
- [6] ZENZO S D. A Note On the Gradient of A Multi-image[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1986, 33(1): 116-125
- [7] PIELLA G, HEIJMANS HA. New Quality Metric for Image Fusion[C] // proceedings of 2003 International Conference on Image Processing, 2003
- [8] QU GUIHONG, ZHANG DALI, YAN PINGFAN. Information Measure for Performance of Image Fusion[J]. Electronics Letters, 2002, 38(7): 313-315
- [9] SHEIKH H R, BOVIK A C. Image Information and Visual Quality[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(2): 430-444
- [10] LI H B, MANJUNATH S M. Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform[J]. Graphical Models and Image Processing, 1995, 57(3): 235 -245
- [11] IOANNIDOU S, KARATHANASSI V. Investigation of the Dual-Tree Complex and Shift-Invariant Discrete Wavelet Transforms on Quickbird Image Fusion[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2007, 4(1): 166-170
- [12] NENCINI F, GARZELLI A, BARONTI S. Remote Sensing Image Fusion Using the Curvelet Transform[J]. Information Fusion, 2007, 8(2): 143-156
- [13] YANG X H, JIAO L C. Fusion Algorithm for Remote Sensing Images Based on Nonsampled Contourlet Transform[J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(3): 274-281

Research on Edge-Map Based Image Fusion Method in Gradient Domain

YANG Hui-jun

(Department of Information Service, Anhui Institute of International Business, Anhui Hefei 230051, China)

Abstract: Fusion image is solved by gradient image fusion via minimizing the distance between the gradient field and fusion gradient field of fusion image, therefore, the accuracy of fusion gradient field directly determines the quality of fusion image. Because there is the complementarity between the information of source images, the accuracy of the structure tensor based gradient field is not high. In order to ensure the quality of fusion image, other perception terms are needed to be added to correct while reconstruction. Thus, this paper advocates an edge map based gradient field fusion method, weighting fusion is processed at edge pixel by the weight of gradient value while maximum modules are fused at non-edge pixel. Experiment result indicates that the accuracy of the gradient field by the gradient field fusion is high and that the reconstructed fusion images have satisfactory visual quality and objective assessment quality.

Key words: image fusion; gradient field; structure tensor; edge image; perception term