

基于区域检测的多聚焦彩色图像融合*

向 昌 成

(阿坝师范高等专科学校 计算机科学系,四川 郫县 611741)

摘要 针对在空域中基于分块的区域检测的多聚焦图像融合算法存在着对清晰部分的提取不完全的问题,对图像边缘部分无法准确提取的缺陷,本文提出一种基于非规则区域检测的彩色图像融合方法。首先将待融合的彩色图像由RGB模式转换到HSV模式,并且比较其对应的V分量图像像素点的邻域内方差的大小,将较大者标识为清晰像素,较小者标识为模糊像素,然后在此基础上根据像素邻域内的统计特征得到具有连续性和不规则性的图像的清晰区域,最后,根据多幅待融合图像的清晰区域重构得到融合结果图像。实验结果表明,与基于分块的区域检测相比,本文所提出的方法能更为准确的提取图像的清晰部分。对比于传统的小波方法,从主观的视觉效果和客观数据分析来看,本文算法是有效的。

关键词 区域检测;彩色图像;清晰像素;方差;多聚焦

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1672-6693(2010)04-0080-04

多聚焦图像融合是图像融合中的一个重要研究领域。由于光学镜头的景深有限,从而人们在对其一场景进行拍照侦查时很难使场景中的所有物体都清晰。这一问题可以通过多聚焦图像融合的方法解决,将同一场景不同区域模糊的几幅图像,用一定的融合准则进行融合,得到一幅同一场景中所有物体都是清晰的图像^[1-3]。

现在有许多技术应用于多聚焦灰度图像的融合。例如,直接对源图像进行加权平均的方法,基于概率的方法^[4],多分辨率方法^[5-6]和基于人工智能的融合方法^[7]。但是,各类方法都有各自的缺陷,比如加权平均法会产生诸如降低融合图像对比度的副作用,基于概率的方法涉及大量的运算,需要消耗大量的时间和内存空间。多分辨率方法中,需要将图像分解到不同频率下,针对不同频率图像选取不同的像素选择规则,而且分解和重构过程中会产生一定的舍入误差,导致融合后图像的像素值发生改变,虽然这种效果对于只需要简单数据的一般用户来说不是很明显,但是,对于场景有精确要求的情况下,此问题就比较突出了。基于人工智能的方法通过训练学习来辨识清晰和模糊区域,此种方法一般计算的代价较高。此方法是用规定的焦点和非焦点数据集完成训练,当出现在所有输入图像都是模糊

的区域时,就会发生错误的分类。本文提出基于焦点区域的彩色图像融合方法,主要思想是从源图像中选出焦点区域并合并它们,从而重构出所有区域都是清晰的融合图像。为了正确检测出清晰区域,本文提出基于方差和区域检测的方法。此方法是一种计算简单并且能够智能地找出清晰和模糊区域。

1 HSV 与 RGB 色彩空间的转换

由于HSV色彩空间可以较好地分离彩色图像的亮度和色度信息,这使其能更好地解决多光谱彩色图像的融合问题^[8]。其中,H、S、V分别代表色调、饱和度、明度。设 $m = \text{MAX}(r, g, b)$, $n = \text{MIN}(r, g, b)$ 则RGB到HSV的变换表达式为

$$v = m, \delta = \begin{cases} (m-n)/m, & m \neq 0 \\ 0, & m = 0 \end{cases}$$
$$h = \begin{cases} 0, & \delta = 0 \\ 60(g-b)/(m-n), & r = m \text{ \& } g \geq b \\ 360 + 60(g-b)/(m-n), & r = m \text{ \& } g < b \\ 120 + 60(b-r)/(m-n), & g = m \\ 240 + 60(r-b)/(m-n), & b = m \end{cases} \quad (1)$$

若 $h = 360$ 则 $h = 0$, 设 $i = \left[\frac{h}{60} \right]$, $f = \frac{h}{60} - i$ 其中 i 为 h 被 60 整除的除数, f 是被 60 整除的余数。设 $p = v *$

* 收稿日期:2009-11-07 修回日期:2010-05-10

资助项目:四川省教育厅自然科学基金(No.07ZC002)

作者简介:向昌成,男,副教授,硕士研究生,研究方向为图像处理。

$(1-s)g = v*(1-s*f) \quad t = v*(1-s*(1-f))$
 则 HSV 转换到 RGB 的数学表达式为

$$\begin{cases} r = v \quad g = t \quad b = p \quad (i = 0) \\ r = q \quad g = v \quad b = p \quad (i = 1) \\ r = p \quad g = v \quad b = t \quad (i = 2) \\ r = p \quad g = q \quad b = v \quad (i = 3) \\ r = t \quad g = p \quad b = v \quad (i = 4) \\ r = v \quad g = p \quad b = q \quad (i = 5) \end{cases} \quad (2)$$

2 清晰区域的检测

2.1 清晰像素的辨别

由于方差也是描述图像是否清晰的一个重要指标,即像素在其邻域内的方差越大,说明其越清晰,所以本文采用源图像像素在其邻域内的方差来区分像素是清晰的还是模糊的。假设两个多焦点图像为 f_1 和 f_2 , 并且设 σ_1 和 σ_2 表示 f_1 和 f_2 中像素在其邻域内的方差。定义公式

$$\sigma_i = \frac{1}{s} \sum_{m,n \in \Omega} (f_i(m,n) - \mu_i)^2 \quad (3)$$

其中 Ω 表示当前像素的邻域, μ_i 表示图像 f_i 中当前像素和其邻域内像素点的平均值, s 描述了邻域 Ω 的大小。

于是,通过下面 3 种情况来辨别像素是否为清晰点。

1) if $\sigma_1 - \sigma_2 > T$ then f_1 中的当前像素为清晰点。

2) if $\sigma_1 - \sigma_2 < -T$ then f_2 中的当前像素为清晰点。

3) if $abs(\sigma_2 - \sigma_1) \leq T$ then f_1 和 f_2 中当前像素介于清晰和模糊之间,把这样的点看成模糊点。

2.2 清晰区域检测

首先由多聚焦彩色图像得到其对应的 V 分量图像(图 1(a)、(b)),再根据前述的算法找出清晰点且用相应二值图像来表示(图 1(c)和(d)),即白色的点表示清晰点,黑色点表示模糊点。然而,从图 1(c)和(d)可看出:模糊区域存在少量清晰点,这不符合实际情况,实际上模糊区域并没有微小的清晰区域。为了解决这种问题,考虑到清晰区域的白点数比模糊区域的白点多,给出一种算法既可以清除模糊区域的白点,又可以防止处于清晰区域的白点被删除。假设 PA 和 PB 为通过清晰像素辨别算法得到的二值图像,清除模糊区域白点的具体算法如下。

1)对 PA 和 PB 进行边界延拓。

2)for PA 和 PB 中每个像素点 do
 SA = 在 PA 中统计以当前像素 (i,j) 为中心及其邻域内白点数;
 SB = 在 PB 中统计以当前像素 (i,j) 为中心及其邻域内白点数;
 If SA > SB
 PB $(i,j) = 0$;% 删除 PB 中的白点
 Endif
 If SA < SB
 PA $(i,j) = 0$;% 删除 PA 中的白点
 Endif
 Endfor

通过上述算法,最终可以清除模糊区域的白点,效果如图 1(e)和(f)所示。

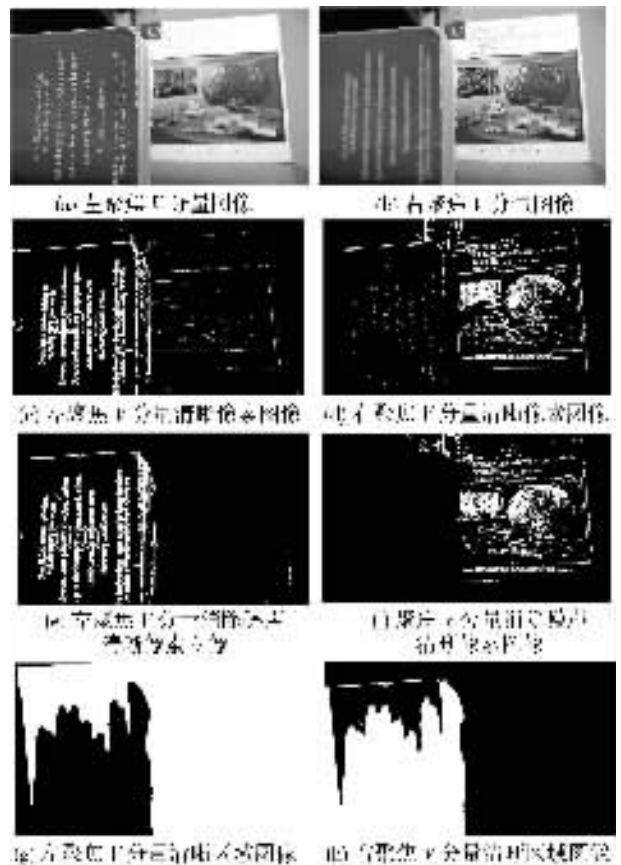


图 1 区域检测分析

如果用图 1(e)和(f)作为检测出的清晰区域显然和实际情况不符,清晰区域在白点数密集的地方应该是连续的。于是,由前述算法得到的删除了模糊区域白点的二值图像(PA 和 PB)的基础上,提出如下算法检测出连续的清晰区域。

1)for PA 和 PB 中每个像素点 do
 SA = 在 PA 中统计以当前像素 (i,j) 为中心及其邻

域内白点数；
 $SB =$ 在 PB 中统计以当前像素 (i, j) 为中心及其邻域内白点数；
 If $SA > SB$
 $PA(i, j) = 1$ ；
 Endif
 If $SA < SB$
 $PB(i, j) = 1$ ；
 Endif
 Endfor

2) 恢复 PA 和 PB 延拓前大小；

最终, 通过此算法可以把白点密集的区域连成一片, 从而找出连续的焦点区域和非焦点区域。效果如图 1(c) 和 (h) 所示。

3 基于区域检测和 HSV 的图像融合

首先将多光谱图像依照(1)式由 RGB 变换到 HSV 色彩空间, 变换后, 光谱信息仍集中保留在 H 和 S 分量中, 在此将各多聚焦图像的 V 分量进行区域检测, 根据 V 分量进行的区域检测, 融合生成的 V' 与 H' 、 S' 分量依照(2)式进行 HSV 逆变换产生新的 RGB 融合图像。具体图像融合算法如下。

1) RGB 图像转换成 HSV 图像。

2) 遍历 HSV 图像 V 分量的每个像素, 利用前述清晰像素辨别算法区分当前像素是否为清晰像素。

3) 利用前述的区域检测算法得到标识源图像清晰区域和模糊区域的二值图像 PA 和 PB 。

4) 根据以上步骤得到的二值图像 PA 和 PB 进行融合, 具体为

$$F^k(i, j) = \begin{cases} A^k(i, j) & \text{if } PA(i, j) = 1 \\ B^k(i, j) & \text{if } PB(i, j) = 1 \\ \frac{A^k(i, j) + B^k(i, j)}{2} & \text{if } PA(i, j) = 0 \text{ 且 } PB(i, j) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中 $A^k(i, j)$ 和 $B^k(i, j)$ 表示源图像的当前像素, $F^k(i, j)$ 表示融合后的当前像素 $k = H, S$ 和 V 。

5) 再将上面得到的 $F^k(k = H, S \text{ 和 } V)$ 转换到 RGB 模式。

4 实验及融合效果分析

4.1 融合算法的实验结果分析

为验证本文融合算法的有效性, 选取两幅已经配准的多聚焦图像(图 2(a)、(b)), 其分辨率为 $1280 \times$

960。图 2(c) 为文献 [4] 提出的用 bior4 小波进行融合后的图像, 图 2(d) 为应用本文提出的算法得到的结果图像。从视觉效果粗略来看, 好像图 2(c) 和 (d) 没多少差别, 但当笔者把图 2(c) 和 (d) 局部放大时(图 2(e) 和 (f)), 发现图 2(e) 中文字区域明显比图 2(f) 模糊。



图 2 聚集图像融合结果分析

4.2 融合算法的客观评价

为了定量评价上述不同融合方法用于多聚焦图像融合的性能, 采用 RMSE 和基于梯度相似性作为客观评价标准^[9]。

1) RMSE

定义融合图像每个单色通道的均方根误差为

$$RMSE^L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [R^L(i, j) - F^L(i, j)]^2}{I \times J}} \quad (5)$$

其中 R^L 和 F^L 分别表示源图像的 $L(L = R, G, B)$ 单色通道, I, J 分别为图像的行、列数。融合图像的均方根误差定义为

$$RMSE = (RMSE^R + RMSE^G + RMSE^B) / 3 \quad (6)$$

从定义知, 如果 $RMSE$ 越小, 融合图像和源图像就越接近, 即图像融合的质量就越好。

2) 基于梯度相似性

图像的梯度描述了像素点与邻域内像素点的偏差情况, 梯度越大说明图像越清晰。定义图像 Y 在点 (i, j) 的梯度如下。

$$\alpha(i, j) = \frac{1}{2} \{ |Y(i, j) - Y(i+1, j+1)| + |Y(i, j+1) - Y(i+1, j)| \} \quad (7)$$

假设有 n 个多焦点图像 $Y_i, i = 1, \dots, n$, 根据公式(7)求得梯度图像 $G_i, i = 1, \dots, n$, 然后在每一个像素点选取最大梯度值, 即

$$\alpha(i, j) = \max\{G_1(i, j), G_2(i, j), \dots, G_n(i, j)\} \quad (8)$$

于是, 构成 G 的像素都来自焦点区域。假如 G' 表示重构图像 X' 的梯度图像, 那么 G 和 G' 相似度越高, 融合算法就越好。相似度定义为

$$S(G, G') = 1 -$$

$$\frac{\sqrt{\sum(\alpha(i, j) - G'(i, j))^2}}{\sqrt{\sum(\alpha(i, j))^2} + \sqrt{\sum(G'(i, j))^2}} \quad (9)$$

结合上面两个评价标准进行了仿真实验, 结果如表 1 所示。从实验结果来看, 本文算法所计算出的 RMSE 小于小波方法。说明本文算法下得到的融合图像更接近参照图像。另外, 在梯度相似性方面, 本文方法得到的梯度相似度大于小波方法, 说明本文方法得到的融合图像和最大梯度图像更接近, 即本文方法得到的图像更清晰。

表 1 不同融合方法的性能比较

评价指标	本文方法	小波方法
RMSE	4.676 1	6.876 3
梯度相似性	0.946 2	0.708 7

5 结论

本文针对传统像素级图像融合方法割裂像素间

联系的问题, 提出一种基于焦点区域检测的彩色图像融合方法。通过本文算法与小波方法的实验和分析, 可得出本文算法无论在目测效果还是在客观统计数据上都是有效的。

参考文献:

- [1] 陆欢, 吴庆宪, 姜长生. 基于 PCA 与小波变换的彩色图像融合算法[J]. 计算机仿真, 2007, 24(9): 202-205.
- [2] 刘加伶, 杨帆, 龚箭. 一种基于融合技术的遥感图像边缘检测算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2009, 21(3): 445-448.
- [3] 罗南超, 向昌成. 基于低频边缘特征和能量的多聚焦图像融合方法[J]. 重庆工学院学报(自然科学版), 2009, 23(8): 168-171.
- [4] Bloch. Information combination operators for data fusion: a review with classification[J]. IEEE Trans S-MC: Part A, 1996, 26: 52-67.
- [5] 曹杰, 龚声蓉, 刘纯平. 一种新的基于小波变换的多聚焦图像融合算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(24): 47-50.
- [6] 龚昌来. 基于局部能量的小波图像融合方法[J]. 激光与红外, 2008, 38(12): 1266-1269.
- [7] Shutao L, James T K, Nan W Y. Multifocus image fusion using artificial neural networks[C]//Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics, [s.l.]: [s.n.], 2005: 985-997.
- [8] 常化文, 陈春香. 基于 HSV 变换与小波变换的遥感图像融合[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(23): 5682-5684.
- [9] Zhang J B, Feng X, Song B L, et al. Multifocus image fusion using quality assessment of spatial domain and genetic algorithm[M]. Krakow [s.n.], 2008: 71-75.

Multi-focus Color Image Fusion Based on Region Detection

XIANG Chang-cheng

(Computer Science Department, ABA Teachers College, Pixian Sichuan 611741, China)

Abstract: For most multi-focus image fusion algorithms which based on block region detection identify the clear region inaccurately, and also distinguish the image edge from source image less effectively. This paper puts forward a kind of color image fusion method based on irregular region detection. First, the RGB images are transformed into HSV images. Comparing the variance of the pixel neighborhood in the V component images, the bigger is regarded as clear pixel. On the contrary, the smaller is regarded as ambiguous pixel, then clear region is obtained based on the statistical characteristics according to the image, finally, the result image is reconstructed with the clear region of the source images. Experimental results show that the proposed method, comparing to the block region detection, can effectively distinguish the clear region from source image, and solve the problem about multi-focus color image fusion more effectively.

Key words: regional detection; color image; clear pixels; variance; multi-focus