

基于区域锐度的多聚焦图像融合

张素兰, 王 铮

(重庆大学计算机学院, 重庆 400044)

摘要: 为了获得同一场景内所有物体都清晰的图像, 提出一种新的多聚焦图像融合算法。把待融合图像进行分块, 构造融合块的清晰度评价函数(区域锐度), 根据其区域锐度值, 判断融合块应取自哪幅源图像。采用投票选举的方法对融合图像进行一致性校验, 对相邻但来自不同聚焦图像的融合块进行加权融合。实验结果证明, 与基于小波分解的融合算法相比, 该算法速度快、效果好。

关键词: 图像融合; 多聚焦图像; 清晰度; 区域锐度

Multi-focus Image Fusion Based on Region Acutance

ZHANG Su-lan, WANG Zheng

(Department of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044)

【Abstract】 In order to get a clear image that contains all relevant objects in an area, this paper proposes a new multi-focus image fusion algorithm. It divides the candidate images into small blocks, and constructs the blocks region acutance function to evaluate image definition. What source images the fused block obtains from depends on the region acutance value of the corresponding block. In the endgame, consistency of the fused images is verified by means of voting, and the adjacent blocks from different candidate images are weighted and fused. Experimental results prove that this algorithm is faster and more precise than traditional wavelet-based fusion.

【Key words】 image fusion; multi-focus image; definition; region acutance

1 概述

图像融合是把来自多传感器的对同一目标检测的多幅图像数据用某种方法进行处理, 生成一幅能更有效地表示该目标的检测信息^[1]。普通光学传感器(如数码相机)在对某一场景进行成像时, 由于场景中不同目标与传感器的距离可能不同, 因此不可能在同一幅图像中让每个场景区域都保持清晰。利用多聚焦图像融合技术, 将这些多聚焦图像进行处理, 提取各自的清晰图像信息进行融合, 从而得到一幅同一场景中所有目标都清晰的图像。在多聚焦图像融合技术中, 具有代表性和比较流行的是多分辨率分解的图像融合方法。文献[2]提出拉普拉斯金字塔算法后, 出现了基于拉普拉斯金字塔、比率低通金字塔、梯度金字塔等的融合方法。随着小波理论的兴起, Chipma 和 Li 等分别提出了基于小波的图像融合方法^[3]。采用多分辨率分解的图像融合方法是通过降低图像清晰区域的图像质量来提升图像模糊区域的图像质量, 以得到目标均清晰的融合结果^[4]。

基于图像清晰度的多聚焦图像融合方法通常首先按照某种清晰度评价标准计算每幅输入图像的清晰度, 然后根据一定的融合规则得到融合图像: 对于明显清晰和模糊区就直接选取源图像中对应的清晰部分; 对于清晰和模糊交界的区域, 对 2 幅输入图像中的对应部分进行加权组合形成融合图像。

本文采用基于区域锐度的融合算法对图像进行分块融合。而对于分块产生的块状效应, 则构造相应的权值进行融合, 最后给出了采用该方法的试验结果及客观评价。

2 多聚焦图像的融合算法

2.1 图像的清晰度评价函数

目前, 对数字图像清晰度的评价方法^[5-6]有空域参数方差、熵等, 但由于这些方法各有优缺点, 如空域参数虽评价简洁、快速, 但其对清晰度变化不敏感, 因此本文利用改进

的边缘锐度算法(EAV)^[7]作为图像的清晰度评价函数。对于数字图像 $f(i, j)$, 其单个像素点的清晰度函数定义为

$$C(i, j) = \sum_{k=1}^8 |df/dx| \approx \begin{aligned} & |f(i, j) - f(i, j-1)| + |f(i, j) - f(i, j+1)| + \\ & |f(i, j) - f(i-1, j)| + |f(i, j) - f(i+1, j)| + \\ & \frac{|f(i, j) - f(i-1, j-1)|}{\sqrt{2}} + \frac{|f(i, j) - f(i+1, j-1)|}{\sqrt{2}} + \\ & \frac{|f(i, j) - f(i-1, j+1)|}{\sqrt{2}} + \frac{|f(i, j) - f(i+1, j+1)|}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)可理解为计算每个像素 8 邻域灰度变化的距离加权和, 其中, 0° 和 90° 相邻的像元权值为 1, 45° 和 135° 相邻的像元权值为 $1/\sqrt{2}$ 。该评估函数是对图像每个点周围的灰度扩散程度的统计, 图像的扩散程度越剧烈, 其值就越大, 图像就越清晰。因此, 在聚焦平面附近, 该评估函数有变换趋势明显和灵敏度高的特点。

2.2 基于区域清晰度的融合规则

由于单个像素点的锐度(式(1))对噪声较为敏感, 因此单个像素点的清晰度高并不代表此点就对应清晰度高的图像像素。为了克服图像融合过程中噪声的干扰问题, 本文采用基于区域锐度的融合规则, 即把待处理的源图像进行分块, 统计每一个分块的区域锐度值作为该块清晰度的评估因子。具体的融合过程如下:

(1) 将 2 幅已配准的图像分解成若干大小为 $M \times N$ 的图像块, $M \times N$ 一般取为 $3 \times 3, 5 \times 5, 8 \times 8$, 分块不宜过大, 否则可能影响融合的质量。

(2) 统计每一个分块的区域锐度, 其公式如下:

作者简介: 张素兰(1984 -), 女, 硕士研究生, 主研方向: 数字图像处理; 王 铮, 副教授

收稿日期: 2008-08-10 **E-mail:** lanlan156@126.com

$$Sharp(l,k) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N C((l-1) \times M + m, (k-1) \times N + n), l \in L, k \in K \quad (2)$$

其中, L, K 表示以大小为 $M \times N$ 的块对图像进行分割得到的行数数和列数, $\chi(l,k)$ 为分块的标号, 范围在 L, K 之间; $Sharp(l,k)$ 表示待融合源图像的第 (l,k) 块的区域锐度。

(3) 构造块匹配度 $\rho(l,k)$:

$$\rho(l,k) = \frac{2 \times (Sharp_A \times Sharp_B)}{Sharp_A^2 + Sharp_B^2} \quad (3)$$

(4) 选定域值 a , 其值一般在 0.5~0.8 之间, 最优值取决于待融合的图像。如果分块 (l,k) 的匹配度 $\rho(l,k) > a$, 则融合结果中对应图像块的取值为

$$\begin{cases} f_f(l,k) = f_A(l,k) & \text{if } Sharp_A > Sharp_B \\ f_f(l,k) = f_B(l,k) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

如果分块 (l,k) 的匹配度 $\rho(l,k) < a$, 则融合结果图像中对应分块 $f_f(l,k)$ 为

$$\begin{cases} f_f(l,k) = f_A(l,k) \times W_{\max} + f_B(l,k) \times W_{\min} & \text{if } Sharp_A > Sharp_B \\ f_f(l,k) = f_A(l,k) \times W_{\min} + f_B(l,k) \times W_{\max} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中,

$$\begin{cases} W_{\max}(l,k) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \times \frac{1-\rho}{1-\alpha} \\ W_{\min}(l,k) = 1 - W_{\max} \end{cases} \quad (6)$$

(5) 融合结果一致性校验。如果融合结果中某一图像块来自图像 A , 而与它相邻的图像块均来自图像 B , 将该图像块改为图像 B 所对应的图像块, 本文采用 3×3 邻域的投票法。

(6) 消除块状效应。如果 2 个相邻的块分别来自 2 幅不同的图像 A 和 B , 则可能在 2 个图像块的交界处出现明显的块状效应或者灰度畸变^[8]。为了解决分块带来的问题, 对来自不同图像的相邻块进行加权融合, 融合规则如下:

$$\begin{cases} f_f(l,k) = f_A(l,k) \times w_{\max} + f_B(l,k) \times w_{\min} & \text{if } Sharp_A > Sharp_B \\ f_f(l,k) = f_A(l,k) \times w_{\min} + f_B(l,k) \times w_{\max} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

其中,

$$\begin{cases} w_{\max}(l,k) = \max(\rho, 1-\rho) \\ w_{\min}(l,k) = 1 - w_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

3 实验结果及分析

基于上述算法, 对 2 幅同一场景中聚焦在不同目标上的图像进行了融合试验, 并与基于小波变换的多聚焦图像的融合方法^[9-10]进行比较, 具体实验结果如图 1 所示。其中, 图 1(a)、图 1(b)分别为 2 幅源图像; 图 1(e)为采用本文算法得到的融合图像; 图 1(d)为采用文献[9]的方法得到的图像; 图 1(f)为采用文献[10]的融合方法得到的图像。为了量化地比较不同方法的融合效果, 选取了一幅清晰图像(图 1(c))作为参考图像, 并使用均方根误差、平均梯度作为客观评价标准。

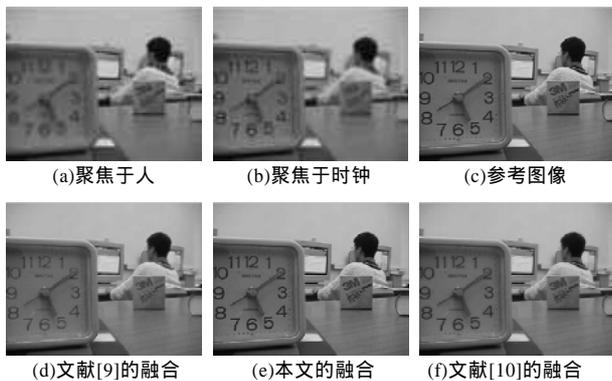


图 1 融合结果

(1) 均方根误差 RMSE

RMSE 用于评价融合图像与标准参考图像之间的差异程度, 差异越小, 融合结果较好, 得到的目标图像就越清晰。参考图像 R 与融合图像 F 之间的均方根误差定义如下:

$$RESM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R(i,j) - F(i,j))^2}{M \times N}} \quad (9)$$

其中, M, N 为图像的行数和列数; $F(i,j)$ 为融合后的图像在像素点 (i,j) 处的灰度值; $R(i,j)$ 为参考图像在像素点 (i,j) 处的灰度值。

(2) 平均梯度

平均梯度(Average Gradient)有敏感反映图像对微小细节反差和纹理变化特征的表达的能力, 同时也反映了图像的清晰程度。其计算公式为

$$G = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{\left(\frac{\Delta Dx}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Dy}{\Delta y}\right)^2} / 2 \quad (10)$$

一般来说, G 越大, 图像层次越多, 融合后图像越清晰, 融合达到了提高图像空间分辨率的目的。

从图 1 和表 1 可以看出, 使用本文方法所得到的融合图像的均方根误差比利用小波变换得到的融合图像的均方根误差小得多, 这充分说明基于区域锐度的多聚焦图像的融合方法能够更多地保留输入图像中的清晰部分, 融合结果更接近给定的参考图像。同时, 实验中得到的融合图像平均梯度比其他 2 种方法的融合图像平均梯度都大, 这也说明了利用此方法得到的融合图像清晰度更高, 细节内容更加丰富。由于算法对相邻但来自不同图像的图像块进行了一致性验证和加权融合, 很好地解决了因分块产生的畸变问题, 因此在图 1(d)中并没有图像边缘不融合现象。

表 1 3 种融合方法的测试结果

| 图片 | RESM | 平均梯度 |
|--------|---------|---------|
| 图 1(d) | 8.191 1 | 4.935 3 |
| 图 1(e) | 0.505 0 | 6.961 5 |
| 图 1(f) | 3.958 3 | 6.351 5 |

4 结束语

本文提出的多聚焦图像融合方法选取了能较好地反映图像块清晰程度的特征, 即区域锐度, 根据“谁清晰选择谁”的融合规则构造融合图像。通过比较图像块的区域锐度, 并考虑相邻块的一致性校验问题, 对多聚焦图像进行了成功的融合。此外, 利用均方根误差、平均梯度等客观评价标准对该融合图像进行了评价和分析, 结果表明, 本文方法与基于小波变换的融合方法相比, 融合效果好, 计算复杂度低, 克服了块状效应。同时通过与参考图像进行对比, 说明该算法是多聚焦图像融合方法中的一种较优的选择。

参考文献

- [1] 吴秀清, 周蓉, 席育孝. 采用小波变换的图像数据融合方法及实现[J]. 小型微型计算机系统, 2000, 21(8): 833-835.
- [2] Burt P J, Adelson E H. The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code[J]. IEEE Trans. on Communications, 1983, 31(4): 532-540.
- [3] Toet A. Image Fusion by a Ratio of Low-pass Pyramid[J]. Pattern Recognition Letters, 1989, 9(4): 255-261.

(下转第 225 页)