

doi: 10.7690/bgzdh.2013.04.015

基于区域一致性的多聚焦图像融合算法

王建¹, 王国琿², 王倩丽¹

(1. 西安航空学院计算机工程系, 西安 710077; 2. 西安工业大学光电工程学院, 西安 710032)

摘要: 针对同一场景两幅严格配准的多聚焦图像融合问题, 设计一种基于区域一致性的多聚焦图像融合算法。该算法利用比率金字塔变换得到图像的多分辨率序列, 采用基于区域一致性的融合方法, 在图像的相应层次序列的各级金字塔图像上进行融合以获取最终的融合图像。从目视效果来看, 采用文中算法进行图像融合, 基本上能够将两幅左右聚焦的图像融合成一幅清晰的单一聚焦图像。实验结果表明: 该算法与同类其他算法相比较, 相关系数提高了 0.08%, 偏差度降低了 30.67%~31.05%, 互信息提高了 7.92%~7.97%。

关键词: 多聚焦图像; 比率金字塔变换; 图像融合

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Multi-Focus Image Fusion Algorithm Based on Regional Consistency

Wang Jian¹, Wang Guohui², Wang Qianli¹

(1. Department of Computer Engineering, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China;

2. School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Focusing on the fusion problem of the multi-focus images from same scene, the multi-focus image fusion algorithm based on regional consistency is designed. By using multi-resolution image sequences obtained from the ratio pyramid transform, the source images were fused on each corresponding levels with the regional consistency method, then the fused image was achieved through inverse ratio pyramid transform. From the visual effect, the designed algorithm can fuse into a clear single focus image from left-focus image and right-focus image. Experimental results and comparisons with three traditional algorithms demonstrate that the designed algorithm is superior with 0.08% improvement of correlation coefficient, 30.67% to 31.05% reduction in the deviation degree and 7.92% to 7.97% enhancement in mutual information.

Key words: multi-focus images; ratio pyramid transform; image fusion

0 引言

图像融合是将多源信道所采集的同一目标图像经过一定的处理, 然后提取各信道的数据进行信息的综合互补, 最后形成新图像的过程^[1]。随着图像融合技术的广泛应用, 研究人员提出了许多图像融合算法, 如 PCA 变换、金字塔变换、小波变换等^[2-6]。金字塔变换的融合方法是一种多尺度、多分辨率的图像融合方法, 具有良好的时频分析特性, 已成为目前研究的热点。

基于此, 笔者在金字塔变换图像融合方法的基础上进行深入分析, 设计出一种基于区域一致性的多聚焦图像融合算法, 在图像空间分辨力的不同层次, 将不同的比率金字塔序列图像进行融合, 并对不同融合方法的性能进行比较分析与客观评价, 证明了该算法的优越性。

1 图像融合结构和算法

金字塔变换是多尺度、多分辨率的图像融合方法,

其方法是对图像进行自底向顶的计算, 每一层图像均由其前一层图像经过滤波而形成, 其建立步骤如下。

1.1 Gaussian 金字塔

Gaussian 金字塔是一组图像序列, 序列中的每一级图像均是其前一级图像和 Gaussian 窗口函数进行低通滤波之后的图像。设 G_0 表示输入的原始图像并将其作为 Gaussian 金字塔的第 0 层即最底层, 则 Gaussian 金字塔的第 k 层为

$$G_k(i, j) = \sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} \omega(m, n) G_{k-1}(2i+m, 2j+n) \quad (1)$$

由上式可知: Gaussian 金字塔第 k 层图像是将第 $k-1$ 层图像 G_{k-1} 和 $\omega(m, n)$ 函数进行卷积, 再把卷积结果进行隔行隔列的降采样。 $\omega(m, n) = \omega(m) \times \omega(n)$ 为 5×5 具有低通特性的 Gaussian 窗口函数, 其值为: $\omega(0) = 3/8$, $\omega(1) = 1/4$, $\omega(2) = 1/16$, $\omega(-1) = 1/4$, $\omega(-2) = 1/16$ 。

1.2 比率金字塔

在 Gaussian 金字塔的基础上, 构造比率金字塔。

收稿日期: 2012-10-21; 修回日期: 2012-11-14

基金项目: 陕西省教育厅科研计划项目资助(11JK0996)

作者简介: 王建(1976—), 男, 陕西人, 硕士, 讲师, 从事模式识别、图像融合研究。

先将 Gaussian 金字塔 G_k 利用如下内插值方法进行放大, 得到放大图像 G_k^* , 以使 G_k^* 的尺寸大小与 G_{k-1} 相同。

$$G_k^*(i, j) = 4 \sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} \omega(m, n) G_k\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right) \quad (2)$$

上式中:

$$G_k\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right) = \begin{cases} G_k\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right) & \frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2} \text{ 整数} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

图像的比率定义为图像某位置的灰度值与该位置的背景灰度值之比。可以将 G_{k+1}^* 作为 G_k 的背景图像, 则图像的比率金字塔定义为:

$$\begin{cases} RP_k = G_k / G_{k+1}^* & \text{当 } 0 \leq k < N \\ RP_N = G_N & \text{当 } k = N \end{cases} \quad (4)$$

其中: 比率金字塔最顶层的层号为 N ; RP_k 表示比率金字塔第 k 层图像。图像的比率金字塔不但是多尺度、多分辨率分解, 并且每一层分解图像均代表图像的对比度信息。

1.3 重构图像

从比率金字塔的最顶层开始由上至下, 按照下式进行逐层递推, 进行图像的重构以获取最终的融合图像 F_0 。

$$\begin{cases} F_N = RP_N & \text{当 } k=N \text{ 时} \\ F_k = RP_k \times G_{k+1}^* & \text{当 } 0 \leq k < N \text{ 时} \end{cases} \quad (5)$$

式中 F_k 和 RP_k 分别表示融合后的第 k 层图像和比率金字塔的第 k 层图像, G_{k+1}^* 表示对 G_{k+1} 插值后与 G_k 具有同样尺寸的图像。

1.4 融合算法

笔者采用区域一致性检测选取最大值的融合规则, 融合算法包含以下步骤:

1) 计算以各个像素为中心的区域最大值, 以得到区域最大值矩阵。一般情况下区域大小为 $N \times N$ 的窗口 (N 为奇数且大于等于 3, 笔者采用 7×7 的区域大小窗口)。

2) 定义一个矩阵 B 如下:

$$B = A_{\max} > B_{\max} \quad (6)$$

其中, A_{\max} 和 B_{\max} 分别代表 A 和 B 2 幅图像的区域最大值矩阵, 显然矩阵 B 的值是 0 或 1。

3) 定义一个矩阵 SUM, 其值为矩阵 B 的区域数据之和:

$$SUM = \sum_{m \in J, n \in K} w(m, n) B(m+m', n+n') \quad (7)$$

其中, W 为 $N \times N$ 的窗口函数, 其值全为 1。

4) 定义区域匹配度临界值 α 为

$$\alpha = \lfloor (N \times N) / 2 \rfloor \quad (8)$$

5) 融合图像 F 为:

若 $SUM > \alpha$, 则采用区域最大值较大的图像 A 相应位置上的像素为融合图像在此位置上的像素。

反之, 则采用图像 B 相应位置上的像素为融合图像在此位置上的像素。

2 图像融合质量的客观评价

2.1 相关系数

相关系数主要用于评价 2 幅图像光谱特征的相似程度和保持光谱特性的能力。源图像与融合图像的相关系数定义为

$$\rho_A = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(i, j) - \bar{f}][A(i, j) - \bar{a}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(i, j) - \bar{f}]^2 [A(i, j) - \bar{a}]^2}} \quad (9)$$

其中 \bar{f} 和 \bar{a} 分别表示融合图像和源图像的平均灰度值, $F(i, j)$ 和 $A(i, j)$ 分别表示融合图像和源图像的像素。相关系数越大, 表明融合图像从源图像获取的信息越多, 图像融合效果越好。笔者采用融合图像与 2 幅源图像相关系数的平均值来描述融合结果与源图像的平均相似程度, 则平均相关系数表示为

$$\bar{\rho} = (\rho_A + \rho_B) / 2 \quad (10)$$

2.2 偏差度

偏差度是将融合图像与源图像对应像素灰度值之差的绝对值同源图像对应像素灰度值之比进行平均求值。融合图像与源图像的偏差度定义为

$$D_A = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{|F(i, j) - A(i, j)|}{A(i, j)} \quad (11)$$

偏差度是衡量融合图像与源图像在光谱信息上的匹配程度和相对差异。偏差度越小则匹配程度越高, 相对差异越小则融合效果越好。笔者采用融合图像与 2 幅源图像偏差度的平均值来描述融合结果与源图像的平均匹配程度, 则平均偏差度表示为

$$\bar{D} = (D_A + D_B) / 2 \quad (12)$$

2.3 互信息

源图像与融合图像的互信息定义为

$$MI_A = \sum_{k=0}^{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} p_{FA}(k, i) \log_2 \frac{p_{FA}(k, i)}{p_F(k) p_A(i)} \quad (13)$$

其中 p_A 和 p_F 分别表示是源图像与融合图像的概率

密度, p_{FA} 代表融合图像与源图像的联合概率密度。互信息是衡量融合图像对源图像不确定性的减少量, 互信息越大, 融合效果越好。笔者采用融合图像与两幅源图像互信息之和来描述融合结果与源图像的综合差异, 则综合互信息表示为

$$MI = MI_A + MI_B \quad (14)$$

3 实验结果

实验的运行环境如下: CPU 为 Intel Core i3-2100, 频率为 3.1 GHz, RAM 为 4 GB, Windows

XP 操作系统, 使用 Matlab 7.0 实现图像融合算法。图像融合实验针对已经严格配准的多聚焦图像, 图像大小为 640×480 像素, 灰度总级数为 256, 其结果见图 1。图 1(a)和图 1(b)分别是左边聚焦和右边聚焦的两幅图像, 图 1(c)~图 1(e)是采用不同的融合算法得到的融合图像, 图 1(f)是采用文中融合算法得到的融合图像。从目视效果来比较融合后的图像, 图 1(f)比图 1(c)~图 1(e)表达的图像信息更加全面、更加准确, 基本上能够将 2 幅左右分别聚焦的图像融合成一幅左右均清晰的单一聚焦图像。

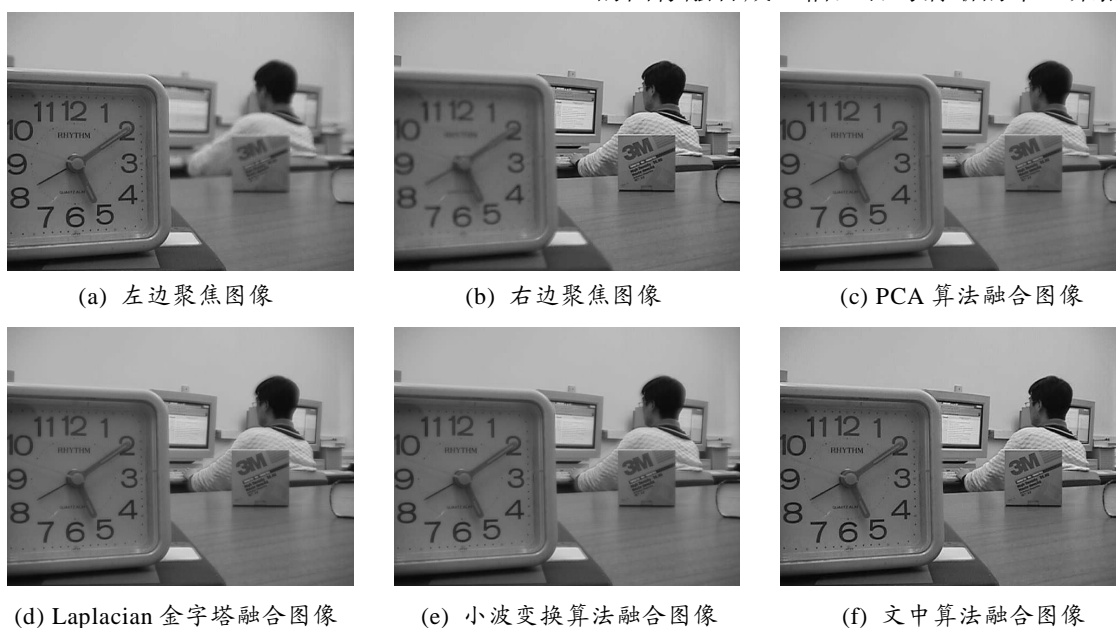


图 1 多聚焦图像的融合

为进一步表明文中算法的通用性, 将文中算法与另外几种图像融合算法比较, 并采用客观评价标准作为比较的依据, 其结果见表 1。由表 1 可知, 文中融合算法与其他融合算法相比较, 能够将相关系数提高 0.08%, 将偏差度降低 30.67%~31.05%, 将互信息提高 7.92%~7.97%。表 1 和图 1 的结论是相一致的, 均表明文中的融合算法更为有效。

表 1 融合算法的性能比较

算法	$\bar{\rho}$	\bar{D}	MI
PCA 算法	0.998 7	0.055 2	7.039 7
Laplacian 金字塔算法	0.998 7	0.055 4	7.036 8
小波变换算法	0.998 7	0.055 1	7.039 8
文中算法	0.999 5	0.038 2	7.597 5

4 结论

笔者在前人研究的基础上, 设计出一种根据区域一致性规则将相应层次序列的各级比率金字塔图像进行融合的算法, 以获取最终的融合图像。实验结果表明, 与其他算法相比, 该融合算法在相关系

数、偏差度和互信息等方面有较为明显改善。

参考文献:

- [1] Varshney P K. Multisensor data fusion[J]. Electronics & Communication Engineering Journal, 1997, 9(6): 245-253.
- [2] Shutao Li, Bin Yang. Multifocus image fusion using region segmentation and spatial frequency[J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(7): 971-979.
- [3] Looney D, Mandic D P. Multiscale image fusion using complex extensions of EMD[J]. IEEE Transaction on Signal Process, 2009, 57(4): 1626-1630.
- [4] 张新曼, 韩九强. 基于视觉特性的多尺度对比度塔图像融合及性能评价[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(4): 380-383.
- [5] Li H, Manjunath B S, Mitra S K. Multisensor image fusion using the wavelet transform[J]. Graphical Models and Image Processing, 1995, 57(3): 235-245.
- [6] 霍冠英, 李庆武, 石丹. 一种邻域一致性的 NSCT 域多传感器图像融合算法[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2010, 37(4): 770-776.