

# 改进的多聚焦图像融合方法研究

刘振宇<sup>1</sup>, 陈超<sup>1</sup>, 江涛<sup>1,2</sup>

LIU Zhen-yu<sup>1</sup>, CHEN Chao<sup>1</sup>, JIANG Tao<sup>1,2</sup>

1. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266510

2. 山东科技大学 基础地理与数字化技术山东省重点实验室, 山东 青岛 266510

1. Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China

2. Key Laboratory of Shandong of Fundamental Geographic Information and Digital Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China

E-mail: sdkejilzy@163.com

LIU Zhen-yu, CHEN Chao, JIANG Tao. Research on improvement of multi-focus image fusion. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(7): 187-189.

**Abstract:** This paper elaborates the basic knowledge of image fusion, and improves the traditional algorithm of multi-focus images fusion based on spatial frequency. It specifically refers that calculating the window's spatial frequency of every pixel as the pixel's value and then processing the location of the pixels according to the value of the spatial frequency and finally generating a fusion image all of whose objects of the same scene are clear. In order to verify the effectiveness of the approach, a simulation test is designed. The result shows that the algorithm is better than traditional algorithm in multi-focus images fusion.

**Key words:** image fusion; multi-focus images; spatial frequency; quality assessment

**摘要:** 主要论述了图像融合的基本知识, 对多聚焦图像传统的基于空间频率的融合算法进行了改进。分别计算多聚焦图像对应位置上每个像素所在窗口的空间频率, 然后根据空间频率的大小对该位置像素进行处理, 最后生成同一场景中所有物体都清晰的融合结果图像。通过仿真实验验证了算法的有效性, 结果表明, 该算法在多聚焦图像融合上要优于传统算法。

**关键词:** 图像融合; 多聚焦图像; 空间频率; 质量评价

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.07.057 文章编号: 1002-8331(2010)07-0187-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391

## 1 引言

近年来, 图像融合技术作为图像分析的一种工具, 成为图像处理技术的研究前沿, 并得以迅速发展。图像融合指的是结合两个或者更多图像的优点产生一种新的增强的图像的技术。图像融合可以在3个不同的层次上进行: 像素层、特征层、决策层。像素层的图像融合是指对测量的物理参数的合并, 即直接在采集的原始数据层上进行融合。它强调各像素一一对应的前提下进行图像像素层的合并处理, 以改善图像处理的效果。特征层的图像融合是指运用不同算法, 首先对各种数据源进行目标识别的特征提取如边缘提取、分类等, 也就是从图像中提取特征信息, 然后对这些特征信息进行综合分析和融合处理。决策层的图像融合是指在图像理解和图像识别的基础上的融合<sup>[1-2]</sup>。

文章主要讨论像素层上的融合。像素层上的图像融合需要相对应的像素处于同样的位置, 在此所用的图像已经经过了处理, 满足了上述的要求。同时所使用的图像具有不同的焦点, 尝试通过图像融合, 获取一幅具有多焦点的清晰图像。有学者提

出将待融合的两幅或者多幅图像分块, 计算各块的空间频率, 然后根据空间频率对各块进行处理, 重新组合成一副新的图像。在此基础上, 提出了一种通过逐像素窗口操作, 对多聚焦图像进行融合的方法。

## 2 技术路线

### 2.1 空间频率

空间频率是一幅图像清晰程度的一种测度, 对于一个大小为  $M \times N$  的图像  $F$ , 图像的空间频率定义为:

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2} \quad (1)$$

式中  $RF$ 、 $CF$  的分别是行和列的空间频率,  $SF$  是整体的空间频率。 $RF$ 、 $CF$  分别定义如下:

$$RF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [F(i, j) - F(i, j-1)]^2} \quad (2)$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=2}^M \sum_{j=1}^N [F(i, j) - F(i-1, j)]^2} \quad (3)$$

**作者简介:** 刘振宇(1983-), 硕士研究生, 主要研究方向: 遥感图像处理与分析等。

**收稿日期:** 2008-10-16 **修回日期:** 2008-12-29

已经证明,同一场景下的多聚焦图像,在一幅图像处于焦点处区块是清晰的,而另外一幅图像在该区块没有被聚焦,图像是模糊的,清晰区块的空间频率是高于模糊区块的空间频率。该文采用窗口的方式计算每个像素与其周围的像素的空间频率,将结果作为该像素的空间频率。从图1原始图像及其对应的经过19×19窗口逐像素运算后的空间频率图像可以看出,图像中清晰的区块,也就是焦点处,其对应空间频率图像的像素亮度也是较高的。

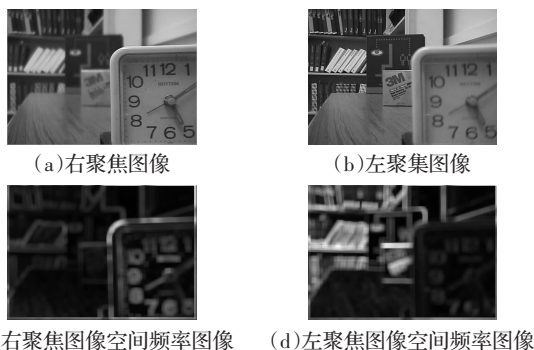


图1 原始图像及计算后空间频率图像

## 2.2 技术路线

(1)为了对边缘像素也进行处理,根据设定窗口的大小(例如5×5,一般以奇数行列为佳),对所要融合的原图像补填充操作。

(2)将窗口放置于初始位置,一般是第一个像素处。根据所设定的窗口大小,计算窗口图像空间频率,将其作为中心像素的空间频率。

(3)根据阈值 $TH$ 和(2)中计算所得 $(i,j)$ 处像素空间频率,按照规则对多聚焦图像对应位置的像素进行处理。

$$F_{i,j} = \begin{cases} A_{i,j} & SF_{i,j}^A > SF_{i,j}^B + TH \\ B_{i,j} & SF_{i,j}^A < SF_{i,j}^B - TH \\ \frac{A_{i,j} + B_{i,j}}{2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

(4)滑动窗口,使其指向下一个像素。

(5)调整融合结果图像中心像素,如果融合结果图像中心像素来自于 $A_i$ ,而其周围像素来自于 $B_i$ ,就将中心像素设置为 $A_i$ 。

(6)得出最终的融合图像。

## 3 实验

### 3.1 实验数据

该文所使用的实验数据,就是图1中(a)、(b)两幅图像,图像大小为640×480。可以看出,上述两副图像是多聚焦图像((a)为右聚焦图像,(b)为左聚焦图像)。这里只考虑两幅源图像的情况,它可以扩充到任意多幅源图像。

### 3.2 均方根误差(RMSE)

均方根误差被用作参考图像(图1(a)、(b)的融合参考图像如图2(a)所示)和融合图像一种评价标准,均方根误差(RMSE)被定义如下:

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

表1 逐像素法计算的RMSE值

阈值	5×5	11×11	15×15	17×17	19×19	21×21
0	4.954 648	2.994 040	2.785 952	2.731 419	2.688 713	2.751 558
0.20	4.904 972	2.934 624	2.731 098	2.657 860	2.624 002	2.692 591
0.40	4.856 241	2.876 594	2.680 425	2.594 588	2.584 443	2.637 710
0.60	4.797 928	2.827 083	2.656 004	2.565 352	2.548 606	2.611 529
0.80	4.749 027	2.795 937	2.634 211	2.545 335	2.527 934	2.587 955
1.00	4.706 538	2.772 816	<b>2.612 453</b>	2.543 275	<b>2.528 260</b>	<b>2.572 465</b>
1.20	4.678 692	2.760 348	<b>2.604 384</b>	<b>2.521 734</b>	<b>2.517 720</b>	<b>2.569 979</b>
1.40	4.646 833	<b>2.749 033</b>	<b>2.609 609</b>	<b>2.519 361</b>	<b>2.519 605</b>	<b>2.573 814</b>
1.60	4.622 392	<b>2.747 686</b>	2.614 744	<b>2.524 957</b>	2.527 079	2.586 830
1.80	4.600 020	<b>2.753 481</b>	2.621 072	2.530 965	2.529 820	2.598 732
2.00	4.579 183	2.763 354	2.632 602	2.537 254	2.540 315	2.619 770
2.20	4.569 206	2.771 709	2.649 340	2.555 835	2.555 046	2.634 250
2.40	4.555 406	2.784 273	2.663 744	2.574 247	2.571 252	2.648 360
2.60	4.543 146	2.792 899	2.675 156	2.588 901	2.580 296	2.657 303
2.80	4.530 890	2.804 261	2.690 307	2.602 502	2.592 667	2.666 686
3.00	4.523 999	2.821 824	2.709 326	2.619 045	2.618 601	2.685 421
3.20	4.512 315	2.839 151	2.728 661	2.641 364	2.640 872	2.709 722
3.40	4.502 731	2.856 035	2.750 618	2.665 759	2.670 017	2.739 591
3.60	4.496 881	2.874 156	2.779 530	2.689 107	2.696 950	2.773 328
3.80	4.484 492	2.891 739	2.811 661	2.712 854	2.722 823	2.808 796
4.00	4.479 722	2.917 111	2.839 106	2.736 845	2.764 570	2.845 694
4.20	4.485 721	2.942 166	2.869 140	2.770 779	2.806 330	2.889 436
4.40	4.475 925	2.973 420	2.901 514	2.809 245	2.839 787	2.927 297
4.60	4.465 504	2.998 245	2.934 660	2.849 059	2.888 672	2.963 693
4.80	4.462 000	3.034 236	2.969 399	2.893 431	2.924 731	3.003 132
5.00	4.454 065	3.057 679	3.004 612	2.934 237	2.970 026	3.034 514

从表1中可以看出:

(1)窗口大小设定为5×5的时候均方根误差随着阈值的增加逐渐减小。实际上,如果把阈值的上限设定再大一些,会发现,RMSE是先减小,减小一个最小值然后再增大,趋势与其他一致。

(2)根据表1中可以断定,最佳窗口大小为19×19,然后经过进一步实验,细分阈值。最终确定阈值大小为1.24时,RMSE值最小,也就是融合结果图像与参考图像最接近。融合结果图像如图2(c)所示。

(3)采用同样的方法,可以确定出分块法最佳窗口大小为21×21,阈值为:1.26。融合结果图像如图2(b)所示。

## 4 质量评价

### 4.1 图像的熵和清晰度

熵是信息度量的一种尺度,影像的熵是衡量影像信息丰富程度的一个重要指标。根据Shannon信息论原理,一幅8 bit表示的影像 $x$ 的熵定义为:

$$H(x) = - \sum_{i=0}^{255} p_i \times \lg p_i \quad (6)$$

式中 $p_i$ 为图像 $x$ 取灰度值 $i$ 的概率,可近似取为灰度的频率。

清晰度是图像在人眼中的清晰程度。一般采用平均梯度,平均梯度敏感的反映图像对微小细节反差的表达能力,其计算公式如下:

$$g = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_1^{(M-1)(N-1)} \sqrt{\frac{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}{2}} \quad (7)$$

式中的 $M$ 和 $N$ 分别是图像的行列数,在图像中求解 $\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}$

时,往往使用 $f(i,j)-f(i-1,j)$ 来代替,同理使用 $f(i,j)-f(i,j-1)$ 来代替 $\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$ 。对于常见的一般人物、风景图像,平均梯度能很好地与人的视觉感受相符,基本上能反映人眼感觉图像的清晰程度<sup>[4]</sup>。

## 4.2 实验结果

按照上述步骤,对两幅实验图像进行融合,同时考虑到图像的目视效果、阈值和熵,最终将逐像素图像窗口的大小设定为 $19 \times 19$ ,阈值设定为1.24,将分块计算的融合图像的窗口大小设定为 $21 \times 21$ ,阈值设定为1.26。进一步的实验也表明,窗口过大,融合图像出现了多重边缘的现象;阈值过大,图像的信息熵和清晰度减小,同时目视效果也变差,逐像素法的最终结果如图2。



图2 参考图像和融合结果图像

首先,从主观方面评价,改进的基于空间频率多聚焦图像融合算法得到图像纹理清晰,空间细节保持能力强。从表2中可以看出,该算法和传统算法所得到的融合结果图像在信息熵方面差不多,而清晰度方面,明显优于传统算法,达到了7.7827。这与目视分析的结果一致。

表2 融合结果评价

	传统算法	该算法
清晰度	7.741 0	7.782 7
信息熵	7.304 6	7.304 5

## 5 结论

提出了一种改进的基于空间频率的多聚焦图像融合算法,经过实验证明,该算法可以快速、有效地实现多聚焦图像融合。融合结果图像较好地保存了原始图像场景中较为清晰的部分。为了验证算法的有效性,还与传统基于空间频率的多聚焦图像融合算法进行比较,从目视效果和定量分析两方面对结果图像进行了评价。结果表明,改进基于空频率的多聚焦图像融合算

法,得到的结果图像纹理清晰,边缘细节信息得到了较多的保留。

但是还应该看到,当窗口设置过小时候,融合后的图像目视效果较差;而当窗口设置过大的时候,融合图像的边缘会出现多重边缘;同时发现一定范围内的阈值设定,对于图像的清晰度和信息熵有影响,但是对于图像的目视效果却影响不大。

## 参考文献:

- [1] 赵英时,陈冬梅,李小文,等.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] Jensen J R.遥感数字影像处理导论[M].陈晓玲,龚威,李平湘,等译.北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 刘松涛,周晓东.图像融合技术研究的最新进展[J].激光与红外,2006,36(8):627-631.
- [4] 叶勤,李翔,陈鹰.基于特性统计方法的航空遥感图像质量评定研究[J].遥感信息,2006(5).
- [5] Gonzalez R C.数字图像处理[M].阮秋崎,阮宇智,译.北京:电子工业出版社,2007.
- [6] 王攀峰.遥感图像融合[R].长沙:中国国防科技大学,2005.
- [7] 曹杰,龚升蓉,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,2006,43(24):47-50.
- [8] 马恒,贾传炎.基于空间频率和小波变换的图像融合方法[J].辽宁工程技术大学学报,2005,24(2):235-238.
- [9] 黄彩霞,齐晶晶,陈家新.基于多小波变换和区域相似度的多聚焦图像融合[J].现代计算机,2007,269(10):47-50.
- [10] 梅益君,王元庆.基于点扩散函数的多聚焦图像融合方法[J].计算机工程,2004,33(19):193-195.
- [11] 赵英时等.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [12] 杨俊,赵忠明.基于 Curvelet 变换的多聚焦图像融合方法[J].光电工程,2007,34(6):67-71.
- [13] Li Shutao, Kwok J T, Wang Yaonan. Combination of images with diverse focuses using the spatial frequency[J]. Information Fusion, 2001, 2: 169-176.
- [14] Aggarwal J K. Multisensor fusion for computer vision[M]. Berlin: Springer, 1993.
- [15] Aleram A. Pyramid techniques for multisensor fusion[C]/Proc of SPIE 2828, 1992.
- [16] Burt P T, Anderson E H. The laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Trans Commun, 1983, 31(4): 532-540.
- [17] 范国娟,尹义龙.一种新的残留指纹图像分割方法[J].中国图象图形学报,2007,12(10):1893-1896.
- [18] 詹小四,孙兆才,楚亚蕴,等.基于一阶微分的指纹图像分割方法[C]//2005年中国模糊逻辑与智能计算联合学术会议论文集.合肥:中国科技大学出版社,2005:718-723.
- [19] 詹小四,孟祥旭,尹义龙.基于纹理分析的指纹图像分割算法[J].计算机工程与应用,2008,44(21):162-165.
- [20] 吴元敏.基于Freeman链码的图像中多个区域面积的计算方法[J].计算机工程与应用,2008,44(15):199-201.
- [21] Zhu E, Zhang J M, Yin J P, et al. Removing the remaining ridges in fingerprint segmentation[J]. Journal of Zhejiang University: Science A, 2006, 7(6): 976-983.
- [22] 陆宗骥,金登南. Visual C++.NET 图像处理编程[M].北京:清华大学出版社,2006:359-367.
- [23] 陈国锋. 指纹图像质量评估及预处理[D].西安电子科技大学,2007:19-25.
- [24] LIN H. Automatic personal identification using fingerprint [D]. Michigan: Michigan State University, 1998.
- [25] 赵衍运,蔡安妮. 指纹图像质量分析[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2006, 18(15): 644-650.

(上接 183 页)