

基于多尺度 PSNR 的图像融合评价算法^{*}

朱亚辉, 彭国华

(西北工业大学理学院, 西安 710072)

摘要: 为了提高图像融合评价的准确性,提出了多尺度 PSNR 的图像融合客观评价方法。该方法首先对标准图像和融合图像按同种方式进行多尺度划分,得到每个标准图像块与相应融合图像块之间的 PSNR;然后将它们组合成多尺度 PSNR;最后应用灰色关联分析作为图像融合结果的优劣评判标准。实验结果表明,这种评价方法考虑了图像像素的整体和局部灰度分布特性,能正确对融合图像质量进行评价,其客观评价结果与主观评价结果具有一致性,且评价方法具有较好的有效性和简洁性。

关键词: 图像融合; 融合评价; 多尺度; 峰值信噪比; 灰色关联分析

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)07-2784-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.105

Evaluation method of image fusion based on multi-scale PSNR

ZHU Ya-hui, PENG Guo-hua

(College of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: This paper proposed an algorithm based on multi-scale PSNR to improve the accurateness of image fusion evaluation result. It obtained many sub-images when divided the fusion image and reference image in different scales, and organized multi-scale PSNR vectors with all PSNR values between each sub-reference image and sub-fusion image. It obtained the evaluation result by grey relation analysis. Experiments show that the proposed method is more consistent with subjective evaluation results, and the proposed method performs well on validity and simplicity.

Key words: image fusion; fusion evaluation; multi-scale; PSNR (peak signal noise ration); grey relation analysis

0 引言

信息融合理论和技术正成为信息和信号处理领域中的研究热点。图像融合作为信息融合的一个重要领域,已经广泛应用于遥感、计算机视觉、医学、军事目标探测和识别等领域^[1]。

近年来,有不少学者提出了各种图像融合的方法^[2~4],如主成分分析方法(PCA)、基于金字塔分解的算法、小波变换方法等。相对于图像融合算法研究的多样性,图像融合效果评价的研究相对较少,而全面、客观的评价不仅可以比较各个融合算法的优劣,还对现有融合算法的改进和研究新的融合算法具有重要的指导意义和参考价值^[5]。

图像融合效果评价方法主要包括主观和客观评价两大类^[6]。前者是凭感知者主观感受图像融合的质量,后者是依据模型给出的量化指标或参数衡量图像融合质量。目前的研究以后者为主,研究目标是使得质量评价模型准确地反映人眼视觉感知的主观质量。其中,峰值信噪比(PSNR)是基于图像像素灰度值进行统计和平均计算,是常用的衡量信号失真的指标,尽管对部分图像融合质量评价时可能与主观感知的质量评价产生较大的偏差,但 PSNR 对于多数图像融合质量评价仍是有效的;从统计的角度来讲,大多数图像融合评价模型取得的结果与 PSNR 没有显著区别。

传统的 PSNR 算法仅在单一尺度的整幅融合图像上进行,无法得到融合图像所需的足够信息。本文提出基于多尺度 PSNR 的图像融合质量评价算法,先将图像进行多尺度划分,对该图像及其每一个划分分别提取 PSNR,组合在一起作为该图像的多尺度 PSNR 向量,然后对这样的向量集再应用灰色关联分析算法进行评价。

1 基于多尺度 PSNR 的图像融合质量评价

图像融合评价指标 PSNR 计算公式如下:

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left(\frac{a_{\max}^2}{\text{MSE}} \right)$$
$$\text{MSE} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R(i,j) - F(i,j))^2$$

其中:MSE(mean square error)为均方误差; $R(i,j)$ 和 $F(i,j)$ 分别为标准参考图像与融合图像中对应的灰度值; MN 为 $M \times N$ 图像的总像素数; $a_{\max} = 2^l - 1$, l 为色彩深度,即表示一个像素点占用的二进制位数,常取 $l=8$ 。

本文提出的评价方法只适合于有标准图像参与的融合评价,评价指标越大表示相似性越大,则融合质量越高。具体步骤如下。

1.1 多尺度 PSNR 向量的构建

对标准图像 R 从整体到局部进行多尺度划分,得到不同

收稿日期: 2011-11-10; **修回日期:** 2011-12-18 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61070233);西北工业大学基础研究基金资助项目(JC200946)

作者简介: 朱亚辉(1981-),女,陕西西安人,博士研究生,主要研究方向为数字图像处理、计算机图形学等(zhuyahui@mail.nwpu.edu.cn);彭国华(1962-),男,博导,主要研究方向为计算机辅助几何设计、计算机图形图像处理等。

尺度的图像子块 $R_{i,j}$ 。其中: $i=1,2,\dots,d$ 表示分割尺度; $j=1,\dots,4^{i-1}$ 表示每种尺度下的子块个数。

分割方法如图 1 所示,从左到右分别为第 1~3 尺度的分割,如图 1(a)~(c) 所示。整体图像称为第 1 尺度的子块 $R_{1,1}$,接着将整体图像分成四个子块 $F_{2,1}, F_{2,2}, F_{2,3}, F_{2,4}$,每个子块被称为第 2 尺度的子块,然后再对第 2 尺度的子块进行划分,直到设定的最大尺度 T 为止。



图 1 图像的多尺度分割

多尺度 PSNR 向量构建的具体算法如下:

a) 求解标准图像 R 和融合图像 F 的第 1 尺度 $R_{1,1}$ 和 $F_{1,1}$ 之间的 PSNR 值,记为 $p_{1,1}$,则第 1 尺度的 PSNR 向量为 $p_1 = \{p_{1,1}\}$ 。

b) 对第 1 尺度的标准图像 $R_{1,1}$ 和融合图像 $F_{1,1}$ 进行划分,得到第 2 个尺度图像子块 $\{R_{2,1}, R_{2,2}, R_{2,3}, R_{2,4}\}$ 和 $\{F_{2,1}, F_{2,2}, F_{2,3}, F_{2,4}\}$,计算 $R_{2,j}$ 和 $F_{2,j}$ 之间的 PSNR 值 $p_{2,j}$,则第 2 尺度的 PSNR 向量为 $p_2 = \{p_{2,j} | j=1,2,3,4\}$ 。

c) 对第 $i-1$ 尺度的每个子块 $R_{i-1,j}$ 进行划分,得到四个第 i 尺度图像子块 $R_{i,s+1}, R_{i,s+2}, R_{i,s+3}, R_{i,s+4}$,其中 $s=4 \times (j-1)$,则第 i 尺度下的所有参考图像子块为 $R_{i,1}, R_{i,2}, \dots, R_{i,4^{i-1}}$;同理,得到第 i 尺度下融合图像 F 的所有子块 $F_{i,1}, F_{i,2}, \dots, F_{i,4^{i-1}}$ 。

分别计算图像子块 $R_{i,j}$ 与 $F_{i,j}$ 之间的 PSNR,记为 $p_{i,j}$,则第 i 尺度下的 PSNR 向量为 $p_i = \{p_{i,j} | j=1,2,\dots,4^{i-1}\}$ 。

d) 依次划分,可得到关于给定的第 T 尺度下的 PSNR 向量 $p_T = \{p_{T,j} | j=1,2,\dots,4^{T-1}\}$ 。

故此,最大尺度 T 下的 PSNR 向量为 $P_T = \{p_1, p_2, \dots, p_T\}$,其中,行向量 P_T 的维数为 $1 \times ((4^T - 1)/3)$ 。

P_T 为标准图像 R 和融合图像 F 的多尺度 PSNR 向量。因为 P_T 包含了标准图像和融合图像从局部到整体的 PSNR 值,能全面反映标准图像和融合图像关于灰度值的差异,有利于评价。

1.2 灰色关联分析

灰色系统是指信息不完全或不完全确定的系数,贫信息、小样本建模的独特优点使灰色系统理论得到了广泛的应用。灰色关联分析是灰色系统理论的重要组成部分,它是根据灰色系统因素之间发展趋势的相似或相异程度来衡量因素之间的接近程度,对实验样本数量没有要求,不需要样本具备典型的分布规律。通过序列建模,生成现实规律,计算量小,其整体比较机制使得它能以较强的分辨力研究系统中的各种复杂关系^[7]。

不妨设有 m 个融合图像,则基于多尺度 PSNR 的图像融合质量评价算法步骤如下:

a) 确定参考序列和比较序列。

给定最大尺度 T ,根据 1.1 节的多尺度 PSNR 向量的构造方法,得到融合图像 $F_r (r=1,2,\dots,m)$ 的多尺度 PSNR 向量 P_r ,令其为比较序列,有

$$x_r = P_r = (x_r(1), x_r(2), \dots, x_r(n))$$

其中, $n = (4^T - 1)/3$ 。

PSNR 值越大,则图像融合质量越好,即 PSNR 属于越大越优型。将最优特征指标组成参考序列,即

$$x_0 = (\max_{1 \leq r \leq m} \{x_r(1)\}, \max_{1 \leq r \leq m} \{x_r(2)\}, \dots, \max_{1 \leq r \leq m} \{x_r(n)\})$$

b) 计算比较序列与参考序列之间的灰色关联系数。

$$\xi_{0r}(k) = \frac{\Delta \min + \zeta \Delta \max}{\Delta_{0r}(k) + \zeta \Delta \max}$$

其中:

$$\Delta \min = \min_r \min_k |X_0(k) - X_r(k)|$$

$$\Delta \max = \max_r \max_k |X_0(k) - X_r(k)|$$

$$\Delta_{0r}(k) = |X_0(k) - X_r(k)|$$

$\zeta \in [0,1]$ 为分辨系数,是一个事先取定的常数,常取 $\zeta = 0.5$,保证 $\xi_{0r} \in [0,1]$ 。

c) 计算比较序列与参考序列之间的各时刻的总体关联程度 R_{0r} 。

$$R_{0r} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{0r}(k)$$

其中: $R_{0r} (r=1,2,\dots,m)$ 为第 r 幅融合图像的评价值。

评价准则:当 R_{0r} 越接近于 1,表示该图像融合与标准图像的相似性越大,融合质量越好;反之,图像融合质量较差。

2 实验结果与分析

本章设计了三组实验。前两组实验说明了评价方法的性能,即优点;最后一组实验研究了最大尺度大小对评价结果的影响。

2.1 评价方法的比较

选用 512×512 的 clock 多聚焦图像进行实验,融合算法采用基于离散小波变换 (discrete wavelet transform, DWT)、主成分分析方法 (principal component analysis, PCA) 和拉普拉斯金字塔 (Laplacian pyramid, LP)。图 2 给出了不同的融合方法在有标准图像情形下的图像融合实验结果,表 1 给出了不同融合方法的评价指标。主观上来说,DWT 融合算法的效果最好,PCA 融合图像最模糊。

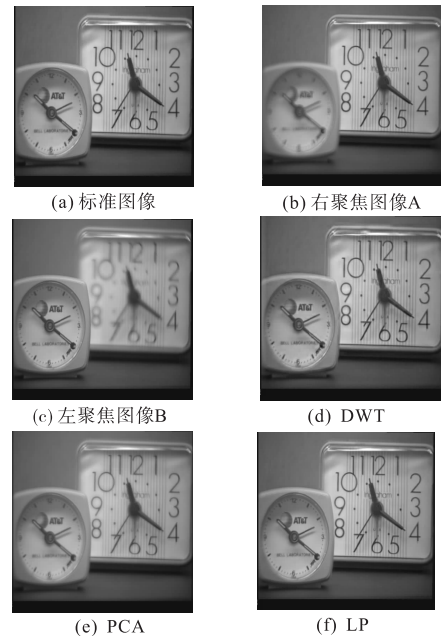


图 2 采用不同融合算法获得的融合图像

从表 1 中可以看出,MI 误认为 PCA 融合效果最优,

RMSE、PSNR、SSIM 和本文评价价值均显示 DWT 融合算法效果最好,只有本文评价价值和 SSIM 认为 PCA 融合效果最差,但 SSIM 的区分度不高。本文的评价结果与主观效果保持一致,而且还具备了非常好的区分度。

表 1 不同融合算法的评价指标

算法	RSME	PSNR	MI	SSIM	本文评价价值
DWT	0.017 2	35.304 8	4.780 3	0.997 9	0.992 8
PCA	0.029 0	30.738 7	4.850 9	0.993 7	0.813 6
LP	0.031 0	30.170 6	4.067 1	0.993 8	0.815 6

2.2 不同图像融合质量评价

选用 10 种不同场景的图像,融合算法分别采用 DWT、PCA、LP、平均融合算法(Mean)、比率金字塔(ration pyramid, RP)和梯度金字塔(gradient pyramid, GRA)。图 3 是采用上述融合算法获得的融合图像(限于篇幅,其他图像的融合图像不再列出)。

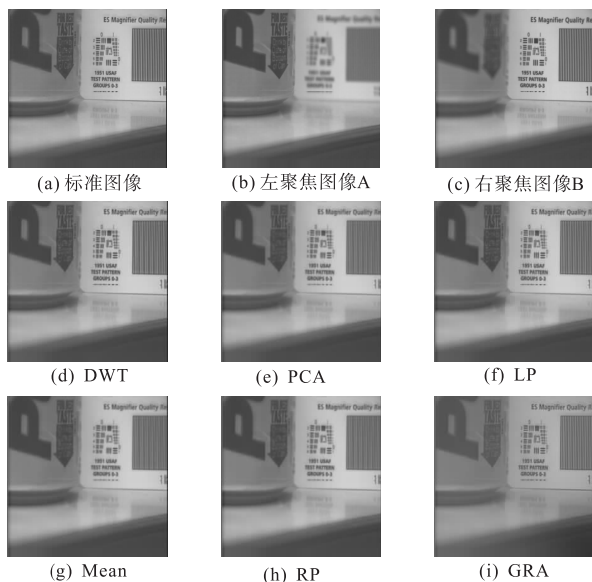


图 3 采用不同融合算法获得的融合图像

主观评测人员由实验室研究生共七人组成,采用相对评价规则,即由观察者将一批图像由好到坏进行分类并给出分数。在无法确定两幅图像质量优劣时,尽可能采用相同分数来避免分数的不确定。其中分值越大,表示融合图像效果最好。表 2 为七名观察者对每幅图像的打分结果求均值的结果。应用本文评价方法对这 10 幅图像的融合图像进行评价,评价结果如表 3 所示。

表 2 不同算法获得的融合图像的主观评分

图像	DWT	PCA	LP	Mean	RP	GRA
Pic 1	5.0	3.3	4.0	3.3	3.6	4.6
Pic 2	4.5	3.1	3.4	3.3	3.6	4.0
Pic 3	5.0	3.5	4.8	3.4	3.9	4.7
Pic 4	4.8	3.5	4.0	3.0	3.8	4.5
Pic 5	5.0	3.4	4.5	3.5	3.8	4.8
Pic 6	4.8	2.3	3.0	2.5	3.6	5.0
Pic 7	4.3	3.0	3.8	2.8	3.3	4.6
Pic 8	5.1	2.6	4.6	2.7	3.8	4.9
Pic 9	4.6	2.5	3.7	2.8	3.4	4.5
Pic10	4.8	3.5	4.6	3.8	4.2	5.0

从表 2 和 3 可知,利用多尺度 PSNR 模型获得的评价结果与客观评价结果具有一致性,视觉上感觉融合效果好的,其客观评价价值就越高,视觉上差不多的,得到的评价价值也差别不大。这说明本文提出的算法能比较客观准确地描述图像的融合程度。基于小波变换的融合算法主观综合得分较高,验证了该融

合算法的适应性较强,突出图像的重要特征和细节信息。Mean 和 PCA 算法针对不同场景的分值都较低,说明这两种算法的适应能力较差,但算法实现简单,实时性好。

表 3 基于多尺度 PSNR 的客观评价结果

图像	DWT	PCA	LP	Mean	RP	GRA
Pic 1	0.980 7	0.854 0	0.884 0	0.858 5	0.872 6	0.951 2
Pic 2	0.945 6	0.863 7	0.865 0	0.864 7	0.865 5	0.913 7
Pic 3	0.850 5	0.703 0	0.785 5	0.702 8	0.781 9	0.783 4
Pic 4	0.972 4	0.855 8	0.876 7	0.746 5	0.866 1	0.949 8
Pic 5	0.957 8	0.846 2	0.869 0	0.848 1	0.857 3	0.937 3
Pic 6	0.844 9	0.730 3	0.763 0	0.734 4	0.808 7	0.954 6
Pic 7	0.712 8	0.678 8	0.697 2	0.678 5	0.681 3	1.000 0
Pic 8	0.921 0	0.623 5	0.670 6	0.648 5	0.649 0	0.677 1
Pic 9	0.964 2	0.559 0	0.800 9	0.556 8	0.797 0	0.844 3
Pic 10	0.816 3	0.667 3	0.772 5	0.668 0	0.669 2	0.885 5

2.3 最大尺度大小对评价结果的影响(表 4)

表 4 最大尺度 L 的大小对评价结果的影响

算法	$L=2$	$L=3$	$L=4$	$L=5$	$L=6$	$L=7$	$L=8$
DWT	0.960 0	0.962 9	0.950 4	0.602 4	0.514 7	0.441 0	0.394 3
LP	0.959 9	0.961 8	0.950 0	0.542 7	0.466 8	0.427 0	0.391 7
PCA	0.947 1	0.950 7	0.937 7	0.527 6	0.463 7	0.416 0	0.390 7

从表 4 可以看出,当最大尺度 L 从 $L=2$ 到 $L=8$ 时,评价结论都能保持一致;当最大尺度 L 过小时,表示图像块过大,图像块的像素点多,图像块中灰度值分布比较广,PSNR 较大,该尺度上的 PSNR 向量构成的比较序列与参考序列越接近,则比较序列和参考序列的关联度比较大,因此评价价值大。当最大尺度 L 过大,表示图像块过小,像素点比较少,PSNR 值较小,导致该尺度上的 PSNR 向量与参考序列的关联度比较小,因此评价价值比较小。但无论哪种情况,都不影响评价结果的正确性。

3 结束语

本文提出了一种基于多尺度 PSNR 的图像融合评价方法。该方法将图像进行多尺度分块处理,通过计算标准图像块和融合图像块之间的 PSNR 值,构造多尺度 PSNR 向量值,再应用灰色关联分析理论进行评价。它的突出特点是能够抽取到图像多尺度下的 PSNR 值,这些局部的 PSNR 值能更好地反映出图像之间的差异,因此更有利于图像融合评价。实验结果表明,该评价算法与主观评价结果具有较好的一致性,且区分度好。但本文算法只适用于有标准图像参与的图像融合评价,而标准参考图像的获取是非常困难的,将本文算法应用到无标准图像参与的图像融合评价还有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 狄红卫,刘显峰.基于结构相似度的图像融合质量评价[J].光子学报,2006,35(5):766-771.
- [2] 那彦,史林,杨万海.小波包变换与遥感图像融合[J].光子学报,2004,33(6):736-738.
- [3] 牛晓晖,贾克斌.基于 PCA 和自适应区域方差的图像融合方法[J].计算机应用研究,2010,27(8):3180-3181.
- [4] 刘坤,郭雷,常威威.基于 Contourlet 变换的区域特征自适应图像融合算法[J].光学学报,2008,28(4):681-686.
- [5] 崔岩梅,倪国强.利用统计特性进行图像融合效果分析及评价[J].北京理工大学学报,2000,20(1):102-106.
- [6] 何贵清,陈世浩,田沅.多传感器图像融合效果评价研究[J].计算机学报,2008,31(3):486-491.
- [7] 邓聚龙.灰理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.