

## 基于相似性的图像融合质量的客观评估方法\*

王超<sup>1</sup>, 叶中付<sup>1,2+</sup>

<sup>1</sup>(中国科学技术大学 电子工程与信息科学系 信号统计处理研究室,安徽 合肥 230027)

<sup>2</sup>(模式识别国家重点实验室(中国科学院 自动化研究所),北京 100080)

### Similarity-Based Objective Measure for Performance of Image Fusion

WANG Chao<sup>1</sup>, YE Zhong-Fu<sup>1,2+</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Statistical Signal Processing, Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

<sup>2</sup>(National Laboratory of Pattern Recognition (Institute of Automation, The Chinese Academy of Sciences), Beijing 100080, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-551-3601314, E-mail: yezf@ustc.edu.cn

**Wang C, Ye ZF. Similarity-Based objective measure for performance of image fusion. *Journal of Software*, 2006,17(7):1580–1587. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/1580.htm>**

**Abstract:** This paper considers the problem of quality assessment of image fusion result. A novel similarity-based measure for the performance of image fusion is proposed. From human visual features, this measure evaluates the similarity of the gradient fields between the source image and fused image. Compared with the existing similarity-based measures, the proposed one has an omnidirectional recognition ability; Compared with the mutual information method, it is more consistent with the human perception nature as it considers only the local image variations. Experimental results show that the proposed measure can evaluate the image fusion performance satisfactorily and is also perceptually meaningful.

**Key words:** image fusion; gradient evaluation; amplitude/angle evaluation

**摘要:** 研究图像融合结果的质量评估问题,提出一种新的基于相似性的图像融合质量客观评估方法.这种方法考虑人类视觉对局部变化更加敏感的特性,用源图像和融合结果的梯度场相似性来衡量融合的性能.这种相似性度量相对于现有的对比度度量,有了全方向的边缘辨识能力;相对于互信息量的度量方法,考虑了图像像素的局部关系,更加符合人的视觉特征.实验结果表明,这种客观评估方法很好地反映了图像融合的质量,与主观评价具有高度的一致性.

**关键词:** 图像融合;梯度矢量评估;幅度/角度评估

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

随着成像技术的发展,更多种类的传感器被用于成像,各种传感器具有更多可成像的参数.对同一事物的不同侧面特征也有了更多的图像进行观察和分析.图像融合技术就是要将反映场景或目标不同特征的多张图片中的各种“重要”信息抽取出来,并将它们综合反映到单幅结果图中,使结果图更加有利于后续的处理.近年来,关于

图像融合算法的研究很多,各种算法也都有其各自的特点,从而对于各种图像融合算法的性能评估也成了—个研究热点<sup>[1-3]</sup>.

1995年, Li等人首先将小波分析引入到图像融合中来<sup>[1]</sup>,并且在可以事先获得“最优”融合结果的前提下,用实际融合结果和“最优”结果误差的平均功率(RMSE)来描述图像融合的质量优劣. RMSE越小,图像融合的效果越好.但在实际情况下,这种“最优”的融合结果是无法获得的,故而这种利用误差功率的评价方法的应用受到很大的限制.

2000年, Xydeas等人根据人类视觉对于局部变化较敏感的特性,提出了用源图像和融合结果图像边缘信息相似性来衡量融合算法保留源图像的“重要”信息的能力<sup>[2]</sup>.但是这种方法也存在—些问题:由于其定义的边缘方向 $\alpha(m,n)$ 是从反正切函数 $\text{atan}$ 得到的,故而它的范围为 $(-\pi/2, \pi/2)$ .这个范围确实可以分辨边缘曲线的走向,但对于边缘两侧的灰度高低关系却无法给出相关信息,即这个 $\alpha(m,n)$ 具有 $\pi$ 的方向模糊.虽然如果整体图像的梯度都含有 $\pi$ 的方向翻转,将不会导致图像质量的下降,但文献<sup>[2]</sup>是逐点考虑的,故如果图像中每个点的梯度都含有一个随机的 $\pi$ 方向翻转将不会改变它的评估值,但却会严重降低视觉效果.另外,在边缘强度的相似性描述上,用该文中的比值法也过于粗糙.

2002年, Qu等人提出了用融合结果与源图像的互信息量来描述融合算法对源图像信息的保持能力<sup>[3]</sup>.这种方法是—从图像整体的灰度分布上去考虑的,并不能实际反映人类视觉的特征.如果源图像中有不同的部分但却有相同的灰度,那么按照这种评估方法,这些不同的部分在融合结果中最好仍然具有同样的灰度,否则将会导致评估结果的降低.这一点似乎不甚合理,因为对于不连通的两部分,只要人眼能够识别,并不一定要求灰度上完全的统一.

本文用融合结果和源图像局部变化信息的相似性作为度量,所采用的变化信息具有全方向的分辨性能.相似性的衡量用—种局部梯度的统计量来完成.本文第1节简单介绍像素灰度的相似性度量方法.第2节介绍新的融合结果的客观评估方法.实验验证将在第3节给出.最后,将对本度量做简要的总结.

## 1 像素相似性度量<sup>[4,5]</sup>

Wang等人关于图像质量的评估提出了一种全局的度量方法<sup>[4]</sup>.本文利用这种方法的思想去评价融合结果中某些信息的相似性.本节简单介绍相关参考文献中图像质量的度量方法.

假设 $x=\{x_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 和 $y=\{y_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 是参考图像和某结果图像的对应像素点灰度,那么结果图像的质量可以用两幅图的相似性度量 $Q$ 来衡量.

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{xy}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]} \quad (1)$$

其中: $\bar{x} = E\{x_i\}$ 和 $\bar{y} = E\{y_i\}$ 为两幅图像的平均灰度,  $\sigma_x^2 = E\{(x_i - \bar{x})^2\}$ 和 $\sigma_y^2 = E\{(y_i - \bar{y})^2\}$ 分别为两幅图像灰度的方差,  $\sigma_{xy} = E\{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}$ 为协方差.为方便理解,度量 $Q$ 可以改写形式为

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y} \cdot \frac{2\bar{xy}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (2)$$

显然,第1项是两幅图像灰度的相关系数,取值范围为 $[-1, +1]$ ;第2项描述了两幅图像均值的相似性,取值范围为 $(0, 1)$ (这里考虑到了灰度的非负性);第3项是两幅图像方差的相似性,图像方差在一定程度上反映了图像的整体对比度,这个方差的相似性也在 $(0, 1)$ 之间.故而 $Q$ 的取值范围是 $[-1, +1]$ :  $Q=1$ 当且仅当 $y_i=x_i, \forall i=1, 2, \dots, N$ ;  $Q=-1$ 当且仅当 $y_i=2\bar{x}-x_i, \forall i=1, 2, \dots, N$ .总之,如公式(1)所示的度量 $Q$ 从两幅图像像素灰度的均值相似性、对比度相似性和相关系数的角度刻画了 $x$ 和 $y$ 的相似性.由Wang<sup>[4]</sup>的实验结果看出,这种相似性度量非常符合人类的视觉主观感知特性.

在Wang的基础上, Alparone等人将这种标量的相似性度量推广到矢量形式,用于衡量多波段图像的相似性<sup>[5]</sup>.相应的度量公式为

$$Q^v = \frac{4|\sigma_{z_1 z_2}| \cdot |\bar{z}_1| \cdot |\bar{z}_2|}{(\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2) \cdot (|\bar{z}_1|^2 + |\bar{z}_2|^2)} \tag{3}$$

由于是在矢量域内讨论的这些统计量,公式(3)中  $Q^v$  的意义不如公式(1)那么直观,感兴趣的读者可以查阅相关参考文献。

## 2 图像融合的客观评估方法

对于人类视觉敏感性而言,图像中的信息大部分是由边缘携带的,边缘对应的像素附近灰度变化比较大,故而本文中选取的“重要”信息就是图像的局部变化信息,即梯度.考虑到本文的算法很容易推到任意波段数的源图像,我们下面以两幅源图像  $A, B$  和一幅融合结果图像  $F$  为例来说明算法.

对于每幅图像,我们都用一阶前向差分代替微分,得到梯度场,用  $s^x$  和  $s^y$  分别表示两个方向的梯度分量,用  $g(m, n) = \sqrt{s^x(m, n)^2 + s^y(m, n)^2}$  和  $\alpha(m, n) = \angle(s^x(m, n) + j \cdot s^y(m, n))$  表示梯度的大小和方向,其中  $j$  是虚数单位,  $\angle$  是取复角运算.以下是直接用梯度矢量特征  $s^x \hat{x} + s^y \hat{y}$  和分别考虑梯度幅度  $g$  与方向  $\alpha$  的两种评估方法.

### 2.1 梯度矢量评估方法

直接用每个像素处的梯度矢量  $s^x \hat{x} + s^y \hat{y}$  整体作为要衡量的特征,综合考虑源图像  $A, B$  中的梯度被保留到融合结果  $F$  中的程度.考虑到图像的非平稳性,先对每幅图分块,块的尺寸为  $N \times N$ ,共分为  $M$  块,可以得到图像块  $\{A^{(i)}, B^{(i)}, F^{(i)}, i=1, 2, \dots, M\}$ .对于第  $i$  个对应块的梯度矢量  $s^x \hat{x} + s^y \hat{y}$ ,按照公式(3)分别计算  $A^{(i)}$  和  $F^{(i)}$  之间的相似性  $Q_{AF}^{v(i)}$  以及  $B^{(i)}$  和  $F^{(i)}$  之间的相似性  $Q_{BF}^{v(i)}$ .然后利用加权方法将  $Q_{AF}^{v(i)}$  和  $Q_{BF}^{v(i)}$  结合起来.

$$Q_{AB|F}^{v(i)} = \omega^{(i)} Q_{AF}^{v(i)} + (1 - \omega^{(i)}) Q_{BF}^{v(i)} \tag{4}$$

由于在融合的过程中,各源图像中梯度大的地方应该反映了比较重要的信息,这些地方的“重要性”应该以较大的强度反映到融合结果中.所以在评价的时候,梯度大的块也应该起到更大的作用,即可取

$$\omega^{(i)} = \begin{cases} \frac{\sum_{(m,n)} g_A^{(i)}(m, n)}{\sum_{(m,n)} g_A^{(i)}(m, n) + \sum_{(m,n)} g_B^{(i)}(m, n)}, & \text{if } \sum_{(m,n)} g_A^{(i)}(m, n) + \sum_{(m,n)} g_B^{(i)}(m, n) \neq 0 \\ 0.5, & \text{else} \end{cases} \tag{5}$$

这样,最终的融合评价取为  $M$  个块的  $Q_{AB|F}^{v(i)}$  的平均值为

$$Q_{AB|F}^v = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Q_{AB|F}^{v(i)} \tag{6}$$

### 2.2 幅度/角度评估方法

如第 1 节中所说的,矢量的相似性度量  $Q^v$  的物理意义不如标量相似性  $Q$  的清楚.比如,对一系列复数和矢量求模是否会丢失一些重要的方向信息、矢量形式的协方差具有怎样的直接的物理意义等都是值得商榷的.本节采用另一种度量方式——将梯度场的幅度和方向分开考虑,来评价梯度场的相似性,从而衡量图像融合的质量好坏.

仍如第 2.1 节一样考虑图像的非平稳性,将图像分块得到  $\{A^{(i)}, B^{(i)}, F^{(i)}, i=1, 2, \dots, M\}$ .对第  $i$  个对应图像块的梯度幅度分量  $g$ ,由于  $g$  是非负的,故可利用公式(1)求出  $g_A^{(i)}$  和  $g_F^{(i)}$  的相似度  $Q_{AF}^{g(i)}$  以及  $g_B^{(i)}$  和  $g_F^{(i)}$  的相似度  $Q_{BF}^{g(i)}$ .关于角度的相似性度量,考虑两个角度  $\beta$  和  $\gamma$  正方向之间的夹角的归一化值

$$A(\beta, \gamma) = 1 - \frac{\text{acos}(\cos(\beta - \gamma))}{\pi/2} \tag{7}$$

很显然,  $A(\beta, \gamma)$  的值域范围是  $[-1, +1]$ .  $\beta$  和  $\gamma$  的方向差越接近 0,这个相似性越接近 1;反之,它们的方向差越接近  $\pi$ ,这个相似性越接近 -1.那么,对于  $A^{(i)}$  和  $F^{(i)}$ ,它们的角度相似性可以表示为对应点梯度方向夹角的均值

$$Q_{AF}^{\alpha(i)} = \frac{1}{N \times N} \sum_{(m,n)} A(\alpha_A^{(i)}(m, n), \alpha_F^{(i)}(m, n)) \tag{8}$$

$Q_{AF}^{\alpha(i)}$  反映了块  $A^{(i)}$  和  $F^{(i)}$  梯度方向的总体相似性.这样综合考虑梯度幅度  $g$  和方向  $\alpha$ ,块  $A^{(i)}$  和  $F^{(i)}$  的梯度相似性描述为

$$Q_{AF}^{(i)} = Q_{AF}^{g(i)} \times Q_{AF}^{\alpha(i)} \tag{9}$$

同样,可以得到块  $B^{(i)}$  和  $F^{(i)}$  的梯度相似性  $Q_{BF}^{(i)}$ .

这样,利用加权求和,可以得到由  $A, B$  融合成  $F$  的梯度信息保留程度  $Q_{AB|F}$ .这里,仍采用第 2.1 节公式(5)的权重系数.

$$Q_{AB|F} = \frac{|\sum_{i=1}^M \omega^{(i)} Q_{AF}^{(i)}| + |\sum_{i=1}^M (1-\omega^{(i)}) Q_{BF}^{(i)}|}{M} \tag{10}$$

如果一幅源图像与融合结果所有点的梯度均反向,即每个点的梯度方向差均为  $\pi$ ,相当于只是图像灰度顺序取反,图像细节信息仍会保留;但如果是部分点梯度反向,则会使图像质量严重地退化,公式(10)中的两个绝对值运算就是出于这一点考虑.在每幅源图像和融合结果计算相似性的时候,如果绝大部分点的梯度都同向或反向,那么,它们大部分是同号相加,再由于这个绝对值操作,不会太大地降低图像最终的度量.同时,如果这个反向情况的出现是完全随机的,那么,绝对值操作前的所有正负累加操作,将使最终的度量不会太高,这一点符合人类的视觉特征.

### 3 实验结果

为了验证本文的融合评估方法的有效性,我们用 4 组实验来说明:前两组分别说明在复杂图像情况下,Qu 的互信息量评估法<sup>[3]</sup>的不稳健性和在部分点梯度反向情况下 Xydeas 方法<sup>[5]</sup>的不足,同时说明第 2.2 节中的方法在这些情况下的有效性;第 3 组实验通过另外 3 组融合实验来说明本文提出的幅度/角度评估方法与主观评价结果能够很好地吻合;最后一组实验简单讨论第 2.2 节方法中分块大小  $N$  对评价准确性的影响.

#### 3.1 实验 1

第 1 组实验中的源图像\*截自 IKONOS 拍摄的 Itaipu 大坝图片,分别是彩色成像的亮度分量转换图和直接用亮度传感器拍摄的灰度图像(如图 1(a)、图 1(b)所示).图 1(c)是用 Li 等人提出的小波变换方法(DWT)<sup>[1]</sup>得到的融合结果.图 1(d)是在对比度融合<sup>[6]</sup>构造目标对比度场过程中加入了极大梯度选择和窗口一致性检验策略(CMWCV)的融合结果.图 1(d)的效果比图 1(c)要好.注意图像中央十字型建筑的顶部的“脊”(在源图像图 1(a)中较明显,而在图 1(b)中只可见一条线,在图 1(c)中只能见一条线,没有图 1(d)中的突起“台”状视觉效果.并且图 1(c)中部有一些右上-左下方向的波纹,而图 1(d)细节清晰,视觉效果较好.用前面所说的几种客观评价标准计算,其结果见表 1.由于图像比较复杂,故而融合结果中的整体灰度分布变化较大,导致用互信息量(MI)<sup>[3]</sup>的衡量方法得到了错误的结论,与人的主观视觉评价不一致.而用本文的两种方法得到的评价结果( $Q_{AB|F}^v$  和  $Q_{AB|F}$ , 块尺寸  $N=8$ )以及 Xydeas 提出的评价结果( $Q_{Xydeas}$ )<sup>[2]</sup>均很好地反映出了主观评价.

**Table 1** Objective measurements of fusion results in Fig.1

**表 1** 图 1 的融合结果几种客观评价

	$Q_{AB F}^v$	$Q_{AB F}$	$Q_{Xydeas}$	MI
DWT	0.591 0	0.407 1	0.501 0	1.954 8
CMWCV	0.634 7	0.508 8	0.597 1	1.923 1

\* 下载自 <http://www.spaceimage.com>



Fig.1 Image fusion of DAM Itaipu, obtained by IKONOS  
图 1 IKONOS 拍摄 Itaipu 大坝截图融合

### 3.2 实验2

第 2 组实验数据是关于人脑部的核磁共振影像(MRI),源图像包含 T1 加权和质子密度(PD)两种模式\*\*,如图 2(a)、图 2(b)所示.图 2(c)、图 2(d)是两种方法(DWT 和 CMWCV,同第 3.1 节)的融合结果,图 2(e)、图 2(f)、图 2(g)都是对图 2(d)加噪的产物,分别是 1%的椒盐噪声(SPN)、均值 1 方差 0.01 的乘性高斯白噪声  $N(1,0.01)$ (MWGN)和零均值 0.01 方差\*\*\*的加性高斯白噪声  $N(0,0.01)$ (AWGN).图 2(h)是在用对比度融合方法<sup>[6]</sup>生成目标梯度场的过程中翻转了一部分像素点的目标梯度方向的产物(Contrast- $\pi$ ).

把图 2(c)~图 2(h)的几幅图像当作图 2(a)、图 2(b)的融合结果,我们做了一些主观评判的统计,共 16 位测试者(其中 5 人从事图像处理工作),让他们对融合结果图 2(c)~图 2(h)的质量进行排序,用 16 个排序的平均值表示主观评价结果(perceptual rank,简称 PR),它与各种客观评价指标均列于表 2 中(块尺寸  $N=8$ ).由此看来,主观视觉上,几种融合结果的的质量的主观评价按照图 2(c)~图 2(h)递减.由于图像的内容比较简单,故而互信息量度量(MI)<sup>[3]</sup>也取得了与主观感知相同的评价顺序.由于 Xydeas 的评价指标  $Q_{Xydeas}$ <sup>[2]</sup>对梯度的方向不考虑 $\pi$ 的翻转,所以对于部分梯度反向的图 2(h)的评估,出现了错误的排序.这种错误的排序结果也出现在了第 2.1 节提出的梯度矢量评估方法中( $Q_{AB/F}^V$ ),因为对每一块的相似性度量使用了公式(3),这个公式中的矢量和复数求模运算也同时模糊了这个方向.而第 3.2 节提出的幅度/角度评估方法由于在分块考虑时保留了相似性的正负号(即考虑了梯度方向的反向问题),对正负项一起累加,在最终的评价公式中求模,这种运算就是允许大部分梯度反向(或同向),而对随机的反向将给出较低的评价指标,从而最终的评价结果仍然符合人类的主观视觉感知能力.虽然图

\*\* 图片下载自 <http://www.bic.mni.mcgill.ca/brainweb/>

\*\*\* 这里的 0.01 是指将图像灰度范围归一化到[0,1]后的噪声功率.

2(g)与图 2(h)在效果上与我们的评价数值相差不大(事实上,测试中有一部分非图像工作者确实认为图 2(h)优于图 2(g)),但是,  $Q_{AB|F}$  确实体现出了它们的细微差别,并给出了与主观一致的评价.

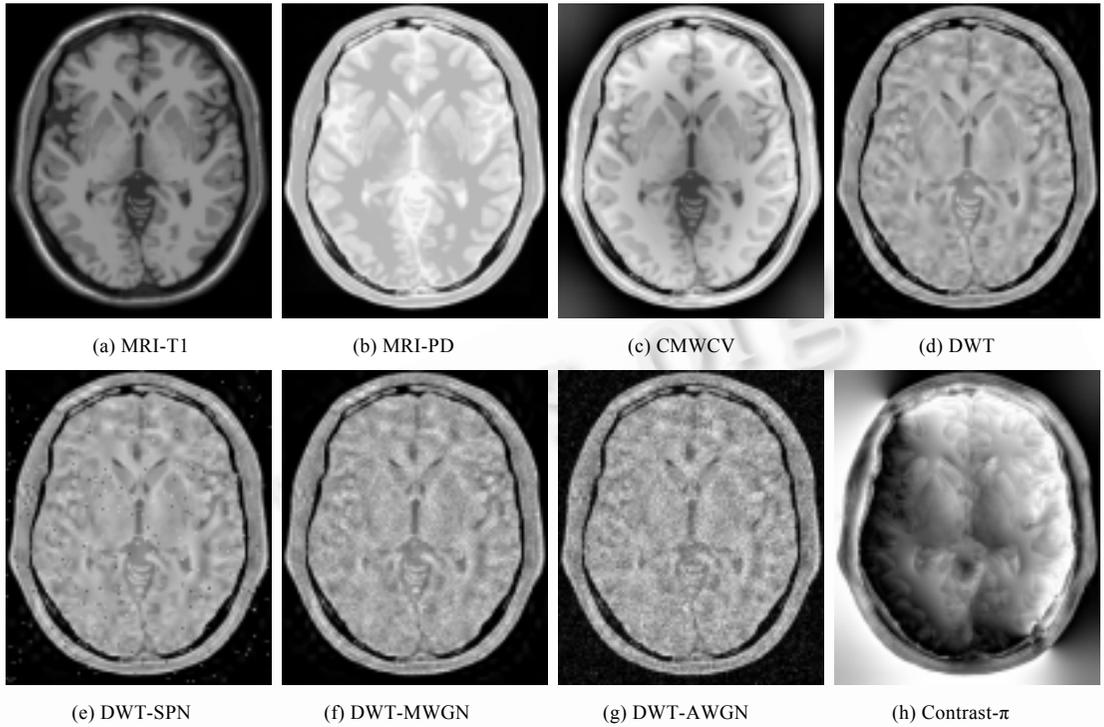


Fig.2 Image fusion of brain MRI

图 2 人脑部 MRI 图像融合

Table 2 Objective measurements and perceptual rank of fusion results in Fig.2

表 2 图 2 的融合结果几种客观评价和主观评价均值

	$Q_{AB F}^v$	$Q_{AB F}$	$Q_{X_{vdeas}}$	MI	PR
CMWCV	0.639 7	0.221 0	0.704 5	2.331 6	1.437 5
DWT	0.509 0	0.183 5	0.538 9	2.100 4	1.812 5
DWT-SPN	0.365 9	0.138 7	0.512 8	2.059 2	2.812 5
DWT-MWGN	0.287 5	0.106 1	0.464 4	2.058 8	4.357 0
DWT-AWGN	0.179 2	0.040 7	0.388 6	1.935 9	5.187 5
Contrast-π	0.292 3	0.027 1	0.400 5	1.329 9	5.375 0

### 3.3 实验3

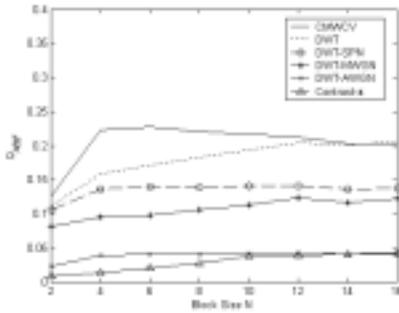
为了验证本文算法的有效性,我们对幅度/角度评估方法做了进一步的实验.分别为多聚焦图像 pepsi、医学图像 CT-MR 和可见光-红外图像 gun\*\*\*\*,分别用 DWT 算法<sup>[1]</sup>和 CMWCV 融合算法,用本文的幅度/角度评估方法对融合结果进行评估( $N=8$ ),同时请 10 位图像工作者对融合结果做了评估排序.由于版面限制,这里未给出源图像和融合结果,主观评价均值和客观评估值列于表 3.从表中可以看出,无论对于多聚焦图像(pepsi)、医学图像(CT-MR),还是可见-红外图像融合,本文提出的幅度/角度评估方法都与主观评价保持了高度的吻合.

\*\*\*\* 图像 gun,pepsi 下载自 [http://www.eecs.lehigh.edu/image\\_fusion.htm](http://www.eecs.lehigh.edu/image_fusion.htm). 图像 CT-MR 下载自 <http://www.imagefusion.org>

**Table 3** Objective measurement  $Q_{AB|F}$  and perceptual rank of some fusion results**表 3** 一组图像融合实验的主观和客观评价  $Q_{AB|F}$ 

	Fusion result	$Q_{AB F}$	PR
CT-MR	DWT fusion	0.358 5	1.9
	CMWCV fusion	0.789 2	1.1
Pepsi	DWT fusion	0.480 8	1.9
	CMWCV fusion	0.583 8	1.1
Gun	DWT fusion	0.642 5	2.0
	CMWCV fusion	0.762 5	1.0

### 3.4 实验4

Fig.3  $Q_{AB|F}$  vs block size  $N$ 图 3  $Q_{AB|F}$  随块大小的变化关系

这一节,我们考虑不同分块尺寸  $N$  时的客观评估  $Q_{AB|F}$  的变化情况.仍然用图 2 中的几幅融合结果.在这个实验中,我们让分块的尺寸  $N$  分别选为  $\{2,4,6,\dots,16\}$  (pixels),分别计算每个融合结果的度量指标  $Q_{AB|F}$ ,结果记录在表 4 中,其变化曲线如图 3 所示.由图 3 可以看出,各幅图的评价指标  $Q_{AB|F}$  随分块的变化有一定的变化,但是整体变化不是很大,曲线比较平坦.这反映了本文第 2.2 节所提出的度量标准  $Q_{AB|F}$  在较大的一个范围内对分块尺寸参数  $N$  不敏感.并且在  $N$  不是很大时,对图 2 的 6 种融合结果的评价都符合主观的排序,只有在  $N \geq 16$  时才出现了排序错误.因为当  $N \geq 16$  时,可能已经超出了图像的平稳区域尺寸了,这样,计算过程中的一些统计量已经失去了其统计意义.事实上,当  $N$  较小时,这个指标对各融合结果的区分能

力也较差.因为  $N$  较小时,分块中的像素点数比较少,用这些少数的样本估计的统计量偏差可能也较大,故而影响了最终的性能.

**Table 4** Objective measurement  $Q_{AB|F}$  of fusion results in Fig. 2 with different block size  $N$ **表 4** 不同分块尺寸  $N$  对应的图 2 各融合结果质量评价指标  $Q_{AB|F}$ 

	$N=2$	$N=4$	$N=6$	$N=8$	$N=10$	$N=12$	$N=14$	$N=16$
CMWCV	0.125 5	0.222 5	0.227 4	0.221 0	0.217 0	0.212 6	0.203 0	0.201 9
DWT	0.111 2	0.158 1	0.171 4	0.183 5	0.193 2	0.204 3	0.202 1	0.205 0
DWT-SPN	0.105 5	0.136 1	0.139 8	0.138 7	0.141 2	0.141 2	0.135 7	0.137 4
DWT-MWGN	0.081 0	0.094 9	0.098 0	0.106 1	0.113 4	0.123 1	0.116 8	0.122 8
DWT-AWGN	0.023 2	0.038 9	0.040 3	0.040 7	0.041 5	0.042 4	0.040 2	0.040 6
Contrast- $\pi$	0.009 3	0.013 5	0.020 9	0.027 1	0.037 5	0.038 7	0.039 8	0.043 1

## 4 结束语

本文针对图像融合结果客观评估问题展开讨论,利用了一种相似性的度量方式来衡量从各源图像到融合结果中梯度信息被保留的程度,利用加权得到最终的融合评估结果.在本文提出的两种方法中,梯度矢量评估方法也像现有的文献一样,可能会对  $\pi$  方向翻转具有不可辨识性,幅度/角度评估方法很好地解决了这个问题.同时,由于用梯度作为衡量标准是一种局部变化信息,更加符合人类的视觉感知特性,从而相对于互信息量的评价标准也表现出了很好的稳健性.实验结果表明,本文所提出的幅度/角度评估方法与人类视觉的主观感知评价非常吻合,具有很强的感知意义.

## References:

- [1] Li H, Manjunath BS, Mitra SK. Multisensor image fusion using the wavelet transform. Graphical Models and Image Processing, 1995,57(3):235-245.
- [2] Xydeas CS, Petrovic V. Objective image fusion performance measure. Electronics Letters, 2000,6(4):308-309.

- [3] Qu G, Zhang D, Yan P. Information measure for performance of image fusion. Electronics Letters, 2002,38(7):313-315.
- [4] Wang Z, Bovik AC. A universal image quality index. IEEE Signal Processing Letters, 2002,9(3):81-84.
- [5] Alparone L, Baronti S, Garzelli A, Nencini F. A global quality measurement of pan-sharpened multispectral imagery. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2004,1(4):313-317.
- [6] Socolinsky DA, Wolff LB. Multispectral image visualization through first-order fusion. IEEE Trans. on Image Processing, 2002, 11(8):923-931.



王超(1980 - ),男,安徽马鞍山人,博士生,主要研究领域为图像分析与处理,图像融合技术和评估。



叶中付(1959 - ),男,教授,博士生导师,主要研究领域为图像处理,融合技术,阵列信号处理,统计信号处理。

## 2006 年全国开放式分布与并行计算学术会议

### 征文通知

由中国计算机学会开放系统专业委员会主办、西北大学信息学院(计算机系)承办、陕西省计算机学会协办的“2006 年全国开放式分布与并行计算学术会议”将于 2006 年 10 月 19 - 21 日在西安召开,现将会议征文的有关事项通知如下:

#### 一、征文范围(包括但不限于下列方面)

1. 开放式分布与并行计算模型、体系结构、算法及应用;
2. 下一代开放式网络、数据通信、网络与信息安全、业务管理技术;
3. 开放式海量数据存储与 Internet 索引技术,分布与并行数据库及数据/Web 挖掘技术;
4. 开放式机群计算、网格计算、Web 服务、P2P 网络及中间件技术;
5. 开放式移动计算、移动代理、传感器网络与自组网技术;
6. 分布式人工智能、多代理与决策支持技术;
7. 分布、并行编程环境和工具;
8. 分布与并行计算算法及其在科学与工程中的应用;
9. 开放式虚拟现实技术与分布式仿真;
10. 开放式多媒体技术与流媒体服务,包括媒体压缩、内容分送、缓存代理、服务发现与管理技术。

#### 二、征文要求

详见会议主页: <http://disnet.nwu.edu.cn/DPCS2006> 或 <http://cs.nju.edu.cn/dpcs>

#### 三、重要日期

会议时间:2006 年 10 月 19 - 21 日

截稿日期:2006 年 7 月 15 日

录用通知:2006 年 7 月 30 日

#### 四、联系方式

投稿邮箱:西安西北大学信息学院 陈晓江 收(请在信封上注明 DPCS2006)

邮政编码:710069

联系电话:029-88308273(房鼎益、陈晓江)

电子邮件:chenxr@mail.xjtu.edu.cn (请在邮件主题中注明 DPCS2006)

专委会联系人:南京大学计算机系 陈贵海,电话:025-58916715, 电子邮件:gchen@nju.edu.cn