

文章编号 1004-924X(2012)12-2773-08

Piella 像素级多分辨率图像 融合框架的扩展及其算法

李光鑫, 徐抒岩*, 吴伟平, 孙天宇, 郝 伟

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:为了优化加权多分辨率图像融合的算法结构,在 Piella 像素级多分辨率图像融合框架基础上,提出一种只用匹配测度控制决策模块的加权多分辨率图像融合扩展模式,改变了传统加权多分辨率图像融合模式必须由活性测度和匹配测度共同决定决策因子的格局。相对于传统模式,提出的扩展模式去除了活性测度,相应的算法结构更为简单。以相关信号强度比作为匹配测度,给出了一种基于扩展模式的加权多分辨率图像融合算法。对红外和可见光图像的融合实验表明,该算法融合性能优于传统加权多分辨率图像融合算法,其边缘融合质量指标(EFQI)和加权融合质量指标(WFQI)分别提高了 2.9%和 1.8%;而且计算复杂度更低,计算决策因子所需的乘法和加法运算次数分别减少了 66.7%和 33.3%。

关键词: Piella 框架;多分辨率图像融合;匹配测度;活性测度

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122012.2773

Extension of Piella pixel-level multiresolution image fusion framework and its algorithm

LI Guang-xin, XU Shu-yan*, WU Wei-ping, SUN Tian-yu, HAO Wei

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

* Corresponding author, E-mail: xsuy@ciomp.ac.cn

Abstract: To optimize the architecture of weighted average multiresolution image fusion algorithm, an extended weighted average multiresolution image fusion model to control the decision map only with the match measure is presented based on the Piella pixel-level multiresolution image fusion framework. The extended model changes the fusion pattern that the decision factor must be decided by both activity measure and match measure in the conventional weighted average multiresolution image fusion model. Since the activity measure is removed in the extended model, the corresponding algorithm architecture is rather simpler. By taking the correlated signal intensity ratio as the match measure, a weighted average multiresolution image fusion method based on the extended model is proposed. The experiment on fusing infrared and visible images shows that the proposed method is able to produce better fusion results than the conventional ones and its Edge Fusion Quality Index(EFQI) and Weight

收稿日期:2012-08-21;修订日期:2012-09-15.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60507003);科技部国际合作项目(No. 2011DFA50590)

Fusion Quality Index(WFQI) has increased by 2.9% and 1.8%, respectively. Moreover, it achieves much lower computational complexity for the decision factor with decreased multiplication and addition times of 66.7% and 33.3%, respectively.

Key words: Piella framework; multiresolution image fusion; match measure; activity measure

1 引言

Piella^[1]在 Zhang 等人^[2]工作基础上,提出了通用的多分辨率图像融合(Multiresolution Image Fusion, MIF)框架,框架中对像素级 MIF 方法进行了全面的分析和总结。依据 Piella 框架,像素级 MIF 方法可分为多分辨率分析和融合规则两部分。根据融合规则,像素级 MIF 方法可分为两类:取大 MIF 方法(采用取大融合规则)和加权 MIF 方法(采用加权融合规则)。加权 MIF 方法对源图像特征相似的情况能够进行精细处理,相对于取大 MIF 方法可以产生更为良好的融合效果。

Piella 框架中以美国 Sarnoff 公司 Burt^[3]提出融合方法为典范,对加权 MIF 方法的各个部分进行了系统的阐述。Burt 方法以窗口区域归一化互相关为匹配测度,以窗口区域能量为活性测度,利用加权融合规则对图像进行多分辨率融合,其加权融合规则以优良的融合质量得到了广泛的重视和应用。美国国防部先进研究项目局(DARPA)的多光谱自适应网络战术图像系统(MANTIS)项目资助 Sarnoff 公司开发了 Acadia II 芯片^[4-5],能够对可见光、短波红外、长波红外三波段探测器 1 280×1 024 大小的图像进行实时融合,芯片中采用的核心融合算法的原型即为 Burt 方法。

开发实时融合系统不仅要着眼于提升系统硬件能力,还要重点考虑简化融合算法结构,这是降低系统开销的根本。Burt 方法中决策因子的选择和计算较为复杂。根据 Piella 框架理论,加权 MIF 算法需要通过匹配测度和活性测度共同决定决策因子,匹配测度用以度量源图像多分辨率分解系数间的匹配或相似程度,活性测度用以度量源图像多分辨率分解系数特征的显著程度。实际上,如果计算匹配测度的方法合适,在衡量源图像多分辨率分解系数相似关系的时候,可以同时判断哪幅源图像提供的特征信息更多。这样就可以摒弃活性测度,打破 Burt 传统加权 MIF 算法

必须由匹配测度和活性测度来共同决定决策因子的范式,从而可以简化加权 MIF 方法的算法结构。

基于上述思路,本文拓展了匹配测度的定义,为 Piella 框架增添了只用匹配测度来决定决策因子的加权 MIF 模式。利用相关信号强度比作为匹配测度,文中给出一种新模式下的典型算法。同 Burt 传统加权 MIF 方法相比,提出的算法具有更为简单的算法结构,计算复杂度更低。实验结果表明,算法能够获得优于传统加权 MIF 方法的融合性能。

2 Piella 框架加权 MIF 模式的扩展

以两幅输入图像 A、B 为例,Piella 框架加权 MIF 传统模式的框图如图 1 所示。 y_S 为源图像 S(S=A 或 B)的多分辨率分解系数,虚线框内为融合规则,分为 4 部分:活性测度、匹配测度、决策模块和合成模块。活性测度 a_S 用于提取多分辨率分解系数 y_S 的特征信息,匹配测度 M_{AB} 用于计算源图像多分辨率分解系数 y_A 和 y_B 间的匹配或相似程度。将这些特征信息和相似程度用于决策模块,就可得到决策因子 d ,然后利用决策因子

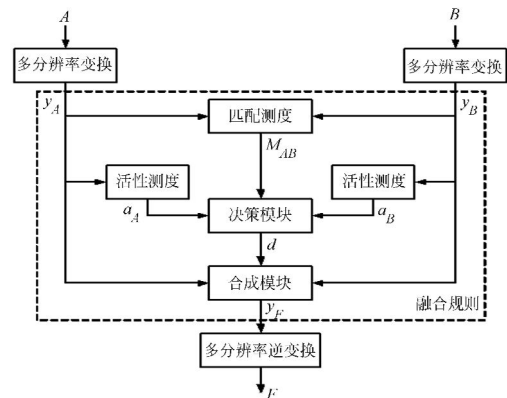


图 1 加权 MIF 传统模式的框图

Fig. 1 Block diagram for conventional weighted average MIF model

通过合成模块得到融合图像的多分辨率分解系数 y_F ,最后经过多分辨率逆变换得到最终的融合图像 F 。

Piella 框架加权 MIF 扩展模式的框图如图 2 所示。相对于传统模式,扩展模式去除了活性测度,扩展模式中的匹配测度同时起到了传统模式中匹配测度和活性测度的作用,因此,扩展模式下加权 MIF 算法的结构更加简单。下面对扩展模式各个部分进行详细的介绍。

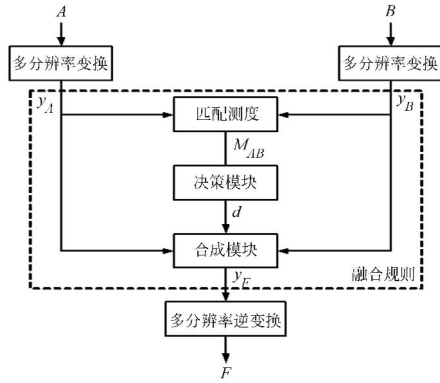


图 2 加权 MIF 扩展模式的框图

Fig. 2 Block diagram for extended weighted average MIF model

2.1 多分辨率分析

同传统模式一样,扩展模式中可以采用各种多分辨率分析工具来对源图像进行多分辨率分解。用 $\{y_j^k\}_{k \geq 0, k \in Z}$ 来表示图像在 j 分解层上的多分辨率分解系数, k 为频带方向。其中 y_j^0 表示近似分量,为图像的低频成分, $\{y_j^k\}_{k \geq 1, k \in Z}$ 表示细节分量,为图像的高频成分。

2.2 匹配测度

与传统模式不同,扩展模式中的匹配测度不仅可以度量源图像多分辨率分解系数 y_A 和 y_B 之间的相似程度,还可以衡量多分辨率分解系数特征信息的显著程度。

本文以相关信号强度比 (Correlated Signal Intensity Ratio) R_{AB} ^[6] 作为匹配测度,其具体表达式如下:

$$R_{j,AB}^k(m,n) = \frac{I_{j,A}^k(m,n)}{I_{j,B}^k(m,n)}, \quad (1)$$

其中:

$$I_{j,S}^k(m,n) = \sum_{m' \in L, n' \in K} P(m',n') |y_{j,S}^k(m+m',n+n')|, \quad (2)$$

$y_{j,S}^k$ 是源图像 S 在 j 分解层、 k 方向上的多分辨率分解系数; $I_{j,S}^k(m,n)$ 表示 $y_{j,S}^k$ 以像素点 (m,n) 为中心的窗口区域信号强度;相关信号强度比 $R_{j,AB}^k(m,n)$ 表示的是窗口区域内 $y_{j,A}^k$ 和 $y_{j,B}^k$ 的信号强度比; P 为窗口区域的掩模,用于对 $|y_{j,S}^k|$ 进行线性滤波; L 和 K 定义了掩模窗口区域的大小, m', n' 的变化范围在 L, K 内。

相关信号强度比 R_{AB} 值域范围为 $[0, 1]$ 。 R_{AB} 接近于 1 表示 y_A 和 y_B 的窗口区域信号强度相近,说明在相应的区域内 y_A 和 y_B 具有相似性;相反, R_{AB} 接近于 0 说明 y_A 和 y_B 两者存在着较大差异。相关信号强度比能够表征源图像多分辨率分解系数间的相似程度。此外,相关信号强度比提取出了源图像窗口区域信号强度这个特征信息,并且计算出其比例关系,根据其数值可直接判断哪幅源图像的特征信息更为显著,因此,相关信号强度比也能起到传统模式中活性测度的作用。

也可以采用其他方法构建扩展模式下的匹配测度,比如 y_A 和 y_B 的窗口区域方差比、梯度比等。

2.3 决策模块

在扩展模式下,决策模块仍然是融合算法的核心,其输出量决策因子实质就是相应源图像多分辨率分解系数的权值,决策模块融合策略的制定直接影响融合图像多分辨率分解系数 y_F 的值。

根据加权 MIF 的特点,决策模块的制定应该遵循下列 3 条原则:

(1) 当两幅源图像多分辨率分解系数的特征相近时,应该各提取源图像多分辨率分解系数的一部分作为融合图像的多分辨率分解系数,而且特征显著的多分辨率分解系数占有的比重至少不能小于一半。

(2) 当特征相同时,应该各取源图像多分辨率分解系数的一半作为融合图像的多分辨率分解系数。

(3) 当特征差异较大时,应该全部或尽量多地选取特征显著的多分辨率分解系数作为融合图像的多分辨率分解系数。

下面根据 3 条制定原则给出一种基于阶梯函数的决策模块:

设定一个阈值 T ,假定相关信号强度比 $R_{AB} < T$ 时窗口区域信号强度 I_A 远小于 I_B ,由于 R_{AB}

是一个比值函数,因此相应地 $R_{AB} > 1/T$ 时表示 I_A 远大于 I_B , $T < R_{AB} < 1/T$ 时表示 I_A 与 I_B 相近。当 $R_{AB} < T$ 和 $R_{AB} > 1/T$ 时,令决策因子 d 分别取 0 和 1,只选取特征显著的多分辨率分解系数作为融合图像的多分辨率分解系数; $T < R_{AB} < 1/T$ 时,各取两幅源图像多分辨率分解系数的一半作为融合图像的多分辨率分解系数,即令 d 为 0.5。这种设置符合决策模块的 3 条制定原则。整个算法决策因子的具体取法如式(3)所示:

$$d_j^k(m, n) = \begin{cases} 1 & \text{if } R_{j,AB}^k(m, n) \geq 1/T \\ 0 & \text{if } R_{j,AB}^k(m, n) < T \\ 0.5 & \text{if } T \leq R_{j,AB}^k(m, n) < 1/T \end{cases}, \quad (3)$$

其中: T 为阈值,取值范围为 $[0, 1]$ 。式(3)实质是决策因子 d 和相关信号强度比 R_{AB} 之间的函数 $d(R_{AB})$,其函数曲线如图 3 所示,可以看出, $d(R_{AB})$ 为一个阶梯函数。也可以采用符合 3 条制定原则的其他类型函数构造决策模块,如作者早期提出的分段函数^[7],其融合性能与阶梯函数几乎相同,但阶梯函数形式更为简单,其决策因子为常数(0、1 和 0.5),更利于实时处理。

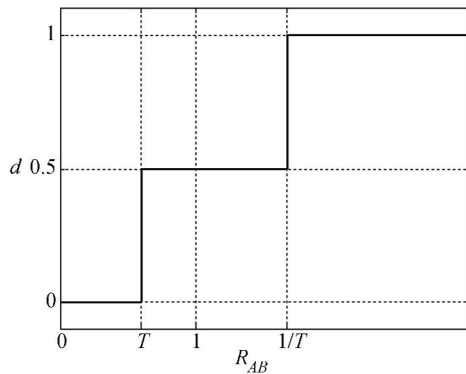


图 3 基于阶梯函数的决策模块曲线示意图

Fig. 3 Sketch curve of decision map based on ladder function

2.4 合成模块

扩展模式中合成模块的计算方法同传统模式相同,其具体表达式如下:

$$y_{j,F}^k(m, n) = \omega_{j,A}^k(m, n) y_{j,A}^k(m, n) + \omega_{j,B}^k(m, n) y_{j,B}^k(m, n), \quad (4)$$

其中: $\omega_{j,A}^k(m, n) = 1 - \omega_{j,B}^k(m, n) = d_j^k$, $\omega_{j,S}^k$ 为 $y_{j,S}^k$ 对应的权值; $y_{j,F}^k$ 为融合图像 F 在 j 分解层、 k 方向上的多分辨率分解系数。

3 加权 MIF 扩展模式下的融合算法

下面以相关信号强度比作为匹配测度,示例一种加权 MIF 扩展模式下的图像融合方法:基于相关信号强度比的加权 MIF (Correlated Signal Intensity Ratio Based Weighted Average Multi-resolution Image Fusion, RWAM) 算法,具体算法步骤如下:

(1) 对源图像 A 和 B 进行多分辨率分解,建立各自的多分辨率图像序列 $\{y_{j,A}^k\}$ 和 $\{y_{j,B}^k\}$;

(2) 对于源图像的细节分量 $y_{j,A}^s$ 和 $y_{j,B}^s$,用相关信号强度比 $R_{j,AB}^s$ (见式(1)) 计算匹配测度,然后计算决策因子 d_j^s (文中实验采用式(3)所示的阶梯函数计算决策因子),最后用式(4)得到融合图像的细节分量 $y_{j,F}^s$;

(3) 对源图像的近似分量 $y_{j,A}^0$ 和 $y_{j,B}^0$ 进行算术平均,得到融合图像的近似分量 $y_{j,F}^0$:

$$y_{j,F}^0(m, n) = \frac{1}{2} (y_{j,A}^0(m, n) + y_{j,B}^0(m, n)); \quad (5)$$

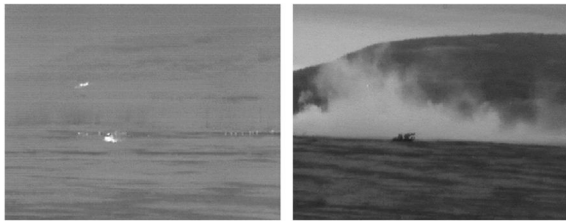
(4) 对融合图像的近似分量和细节分量进行多分辨率逆变换,得到最终的融合图像 F 。

4 实验结果及分析

把 RWAM 方法同一些典型图像融合方法进行比较,用于比较的方法包括像素平均法 (Pixel Averaging, PA) 方法, T. Pu 方法^[8], H. Li 方法^[9], Burt 方法^[3]。T. Pu 方法和 H. Li 方法属于取大 MIF 方法,它们均采用取大融合规则,但所用的活性测度不一样。T. Pu 方法采用方向对比度作为活性测度; H. Li 方法采用窗口区域绝对值最大值作为活性测度,并用大多数原则对决策因子进行一致性校验。

实验中均采用 Daubechies 的双正交“5-3”小波^[10]作为多分辨率分析工具,分解层数为 4。Burt 方法、RWAM 方法中的阈值均取 0.75,均采用 $\{\{1/16, 1/8, 1/16\}, \{1/8, 1/4, 1/8\}, \{1/16, 1/8, 1/16\}\}$ 作为掩模。

用边缘融合质量指标 (Edge-dependent fusion quality index, EFQI) 和加权融合质量指标



(a) 8~12 μm 长波红外图像 (b) 可见光图像
(a) 8-12 μm long wave infrared image (b) Visible image

图 4 Battlefield 图像

Fig. 4 Battlefield images

(Weighted Fusion Quality Index, WFQI)^[11]对融合结果进行客观评价。WFQI、EFQI 是两个结合考虑人类视觉特性的客观评价指标,其有效性已得到国际认可^[12-13],WFQI 用于度量融合图像包含源图像特征信息的多少,EFQI 侧重评价人眼对图像边缘信息的敏感性。二指标值域范围均为 [-1, 1],越接近于 1 表示融合图像的质量越好。EFQI 的定义为:

$$Q_E(A, B, F) = Q_W(A, B, F)^{1-\alpha} \cdot Q_W(A', B', F')^\alpha, \quad (6)$$

Q_E 为 EFQI, Q_W 为 WFQI, A', B', F' 分别为源图像 A、B 和融合图像 F 的边缘图像。WFQI 的定义如下:

$$Q_W(A, B, F) = \sum_{\omega \in \Omega} c(\omega) (\rho_A(\omega) Q_0(A, F, | \omega) + (1 - \rho_A(\omega)) Q_0(B, F, | \omega)), \quad (7)$$

$$c(\omega) = C(\omega) / (\sum_{\omega' \in \Omega} C(\omega')), \quad (8)$$

$$C(\omega) = \max(\eta(A| \omega), \eta(B| \omega)), \quad (9)$$

$$\rho_A(\omega) = \eta(A| \omega) / (\eta(A| \omega) + \eta(B| \omega)). \quad (10)$$

$\eta(A| \omega)$ 为图像 A 在窗口 ω 内的某些显著特征,如方差、能量等, Ω 是所有窗口的总和, Q_0 为总体图像质量指标 (Overall Image Quality Index),其详式见文献^[11]。

采用图 4 所示的 Battlefield 图像作为实验源图像,这是一组经过严格配准的战场监控图像,其中(a)为 8~12 μm 的长波红外图像,(b)为相应的 CCD 灰度可见光图像。Battlefield 源图像由荷兰 TNO 人力因素研究所的 Toet 博士提供。各方法对 Battlefield 图像的融合结果如图 5 所示,融合质量的客观评价数据如表 1 所示,相应的数据曲线如图 6 所示。



(a) PA 方法的融合结果 (b) T. Pu 方法的融合结果
(a) Fused result obtained by PA method (b) Fused result obtained by T. Pu method



(c) H. Li 方法的融合结果 (d) Burt 方法的融合结果
(c) Fused result obtained by H. Li method (d) Fused result obtained by Burt method



(e) RWAM 方法的融合结果

(e) Fused result obtained by RWAM method
图 5 各方法对 Battlefield 图像的融合结果

Fig. 5 Fused results of Battlefield images by using various methods

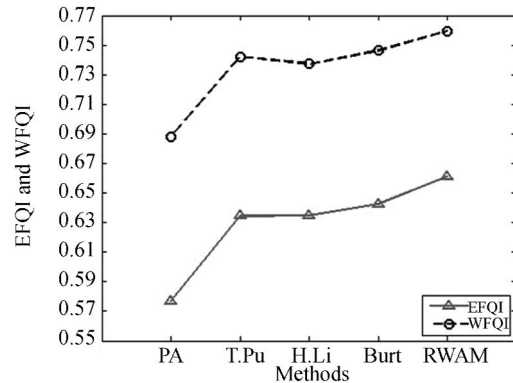


图 6 各种方法融合结果的 EFQI 和 WFQI 数据曲线图

Fig. 6 Data graphs for EFQI and WFQI of fused results obtained by various methods

表 1 各种方法融合结果的 EFQI 和 WFQI 指标

Tab. 1 EFQI and WFQI of fused results obtained by various methods

方法	PA	T. Pu	H. Li	Burt	RWAM
EFQI	0.576 4	0.634 5	0.634 7	0.642 6	0.661 0
WFQI	0.687 7	0.742 1	0.737 2	0.746 4	0.759 7

4.1 各种方法融合性能的比较

综合主观和客观评价结果,可以得出以下结论:

(1)MIF 方法的融合性能要优于 PA 融合法。

从视觉效果上看,PA 方法融合图像的对比度较低,图像的细节信息表现得不很清楚。相比之下,MIF 方法融合图像能够更清楚地表现红外和可见光图像中的信息,融合效果更为优良。Battlefield 图像中士兵、卡车、直升飞机的轮廓信息,地貌的纹理信息在 PA 方法融合图像中看起来都比较模糊,但是在 MIF 方法融合图像中,这些信息都得以清晰的体现。

MIF 方法的 EFQI 和 WFQI 都远高于 PA 方法。EFQI 可最大提高 $(0.661\ 0 - 0.576\ 4) / 0.576\ 4 = 14.7\%$,WFQI 可最大提高 $(0.759\ 7 - 0.687\ 7) / 0.687\ 7 = 10.5\%$ 。

PA 方法速度快,但是处理方法过于简单,因此其融合效果不能令人满意。MIF 方法在各个频段上对源图像进行融合处理,其融合图像具有更高的对比度和更丰富的细节,这对场景理解十分有利,使得观察者可以作出更为准确的判断和分析。

(2)同取大 MIF 方法相比,加权 MIF 方法的性能更为优良。

从表 1 客观评价数据和图 6 数据曲线图可以看出,加权 MIF 方法的性能指标整体好于取大 MIF 方法。EFQI 可最大提高 $(0.661\ 0 - 0.634\ 5) / 0.634\ 5 = 5.2\%$,WFQI 可最大提高 $(0.759\ 7 - 0.737\ 2) / 0.737\ 2 = 3\%$ 。

取大 MIF 方法只是单纯地把特征显著的源图像信息选入到融合图像中,而加权 MIF 方法在源图像特征相似时权衡考虑了所有源图像的信息,对源图像进行了更为精确的处理,因此融合效果更为优良。

(3)RWAM 方法的融合性能优于其他方法。

由表 1 客观评价数据和图 6 数据曲线图可以

明显地看出,RWAM 算法的融合性能优于其他的融合方法。在和 RWAM 算法进行比较的融合方法中,Burt 方法的整体融合性能最为优良。RWAM 算法和 Burt 方法虽然都属于加权 MIF 方法,但是 RWAM 算法的融合性能更好,与 Burt 方法相比,RWAM 算法的 EFQI 高出 $(0.661\ 0 - 0.642\ 6) / 0.642\ 6 = 2.9\%$,WFQI 高出 $(0.759\ 7 - 0.746\ 4) / 0.746\ 4 = 1.8\%$ 。

4.2 加权 MIF 方法计算复杂度分析

RWAM 方法不仅能够取得优于 Burt 传统加权 MIF 方法的融合结果,而且能够获得更低的算法复杂度。若采用的掩模大小为 $n \times n$,则对于一个像素点,RWAM 方法和 Burt 方法获取到决策因子所需的最少的乘法和加法运算次数见表 2。较之于 Burt 方法,RWAM 方法的计算复杂度更低,乘法运算次数减少了 $((6n^2 + 1) - (2n^2 + 1)) / (6n^2 + 1) \approx 66.7\%$,加法运算次数减少了 $((3n^2 - 2) - (2n^2 - 2)) / (3n^2 - 2) \approx 33.3\%$ 。RWAM 方法去除了对活性测度的计算,并且由于采用相关信号强度比作为匹配测度,因此匹配测度的计算更为简单(Burt 方法采用窗口区域归一化互相关作为匹配测度),大大简化了决策模块的计算过程,因此具有更低的计算复杂度,运行效率更高。

表 2 Burt 方法和 RWAM 方法计算复杂度的比较

Tab. 2 Comparison of computational complexity between Burt and RWAM methods

	Burt 方法	RWAM 方法
乘法运算次数	$6n^2 + 1$	$2n^2 + 1$
加法运算次数	$3n^2 - 2$	$2n^2 - 2$

5 结 论

本文在 Piella 框架加权 MIF 传统模式基础上,提出了只用匹配测度控制决策模块的加权 MIF 扩展模式。扩展模式去除了活性测度,改变了加权 MIF 必须由匹配测度和活性测度来共同决定决策因子的格局,使决策模块的计算更为简单。文中利用相关信号强度比作为匹配测度,给出一种基于扩展模式的加权 MIF 方法:RWAM。相对于传统加权 MIF 算法,RWAM 方法可以获得更低的算法复杂度,实验数据表明,RWAM 方

法具有比传统加权 MIF 算法更优的融合性能。

下一步工作将结合拉普拉斯金字塔等利于硬件实现的多分辨率分析工具,开展双波段乃至多波段实时图像融合系统的研究。实际研究工作不仅要考虑电子学问题,还需综合考虑采集源图像的探测器特性,图像降噪,图像配准,RWAM 算法多分辨率分解层数和阈值选择策略等诸多技术问题。此外,Piella 框架中不仅囊括像素级图像融合,而且还涵盖了区域图像融合。后者是通过像素级 MIF 结合源图像的多分辨率图像分割完

成图像融合,其核心仍为像素级 MIF。本文研究范畴为像素级图像融合,今后可在扩展模式基础上结合 Piella 框架区域融合策略研究区域图像融合方法。

6 致 谢

荷兰 TNO 人力因素研究所的 Toet 博士提供了本文的实验源图像,特此声明并表示感谢。

参考文献:

- [1] PIELLA G. A general framework for multiresolution image fusion: From pixels to regions [J]. *Information Fusion*, 2003, 4(4):259-280.
- [2] ZHANG Z, BLUM R S. A categorization of multi-scale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application [J]. *IEEE*, 1999, 87(8):1315-1326.
- [3] BURT P J, KOLCZYNSKI R J. Enhanced image capture through fusion [C]. *The 4th International Conference on Computer Vision, Berlin, Germany*: 1993:173-182.
- [4] GOOITZEN V D W. Technical overview of the sarnoff acadia II vision processor [J]. *SPIE*, 2010, 7710: 77100O-1-77100O-12.
- [5] DAVID B, GOOITZEN V D W. Implementing real-time imaging systems using the sarnoff acadia II vision processor [J]. *SPIE*, 2010, 7710: 77100T-1-77100T-12.
- [6] 李光鑫,徐抒岩. 适于图像融合的快速颜色传递方法 [J]. *光学精密工程*, 2009, 17(9):2301-2310.
LI G X, XU S Y. Fast color transfer method for image fusion [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(9): 2301-2310. (in Chinese)
- [7] 李光鑫,王珂,张立保. 加权多分辨率图像融合的快速算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(12): 1529-1536.
- [8] LI G X, WANG K, ZHANG L B. Computationally efficient algorithm of multiresolution image fusion with weighted average fusion rule [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2005,10(12):1529-1536. (in Chinese)
- [9] PU T, NI G. Contrast-based image fusion using the discrete wavelet transform [J]. *Optical Engineering*, 2000, 39(8): 2075-2082.
- [10] DAUBECHIES I. *Ten Lectures on Wavelets* [M]. Philadelphia, PA: SIAM, 1992.
- [11] PIELLA G, HEIJMANS H. A new quality metric for image fusion [C]. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain*,2003: III-173-III-176.
- [12] CANGA E F, NIKOLOV S G, CANAGARAJAH C N, et al.. Characterisation of image fusion quality metrics for surveillance applications over band-limited channels [C]. *The 8th International Conference on Information Fusion, Philadelphia, USA*,2005:483-490.
- [13] SMITH M I, HEATHER J P. Review of image fusion technology in 2005 [J]. *SPIE*, 2005, 5782: 29-45.

作者简介:



李光鑫(1978—),男,吉林长春人,副研究员,2001年于北京理工大学自动控制系获工学学士学位,2005年、2008年于吉林大学通信工程学院分别获工学硕士、工学博士学位,主要从事图像融合、图像处理等方面的研究。E-mail: guangxin.li@126.com



孙天宇(1975—),男,吉林长春人,工程师,1997年毕业于长春理工大学材料工程专业,主要从事空间光学遥感器装备及集成技术等方面的研究工作。E-mail: suntianyu@163.com



徐抒岩(1963—),男,辽宁人,研究员,博士生导师,1985年于天津大学获学士学位,1989年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获硕士学位,主要从事空间光学遥感器计算机控制、图像处理等方面的研究。E-mail: xusy@ciomp.ac.cn



郝伟(1974—),男,吉林长春人,博士,主要从事数字图像处理、数字信号处理、目标跟踪算法与策略的研究。E-mail: simon_wei_2000@sohu.com



吴伟平(1980—),男,吉林长春人,助理研究员,博士研究生,2003年于吉林大学获得学士学位,2006年于吉林大学获得硕士学位,主要从事电子学仿真测试与图像识别方面的研究。E-mail: rainciomp@sina.com.cn

● 下期预告

透明材料微小器件键合质量检测系统设计

王小鹏,刘志华,陈天宁

(西安交通大学 机械工程学院 & 机械结构强度与振动国家重点实验室,陕西 西安 710049)

为实现透明材料微小器件这类具有材料和结构特殊性产品的键合质量检测,提出可见光透射机器视觉检测法,并分析了检测系统硬件中主要部件的性能要求,研究了该检测系统的图像处理技术。检测系统利用光源、相机、镜头和计算机等主要部件实现图像采集功能,并通过图像相减、灰度直方图调整、图像滤波和图像二值化等图像处理功能完成了质量检测。实验结果表明,可见光透射机器视觉检测法能灵敏有效地检测出透明材料微小器件键合位置处存在的键合间隙,缺陷大小检测精度可达 $10\ \mu\text{m}$,满足透明材料微小器件高效、非接触、无损、无污染的检测要求。