

多层次及对比度提升的红外和可见光图像融合

彭逸月^{1,2}, 何伟基¹, 顾国华¹, 童涛³

(1. 南京理工大学 电光学院, 江苏 南京 210094; 2. 微光夜视技术重点实验室, 陕西 西安 710065;
3. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘要: 提出了一种针对红外和可见光图像的有效融合算法。首先, 在 Petrović 多层次图像融合体系的基础上, 在特征级信息中加入高频边缘分量, 提高了融合质量; 其次, 分析了图像特点及目标的物理特性, 提出了针对融合结果的对比度提升方法, 进一步提高了融合质量。通过主观观察以及客观指标对比证明, 该方法获得了优于其他比较方法的融合结果, 并且对比度提升方法明显提高了各类方法的红外和可见光图像融合质量, 效果好, 具有广泛的适用性。

关键词: 图像融合; 多层次融合; 红外和可见光图像; 对比度提升

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)04-1095-05

Visible and infrared image fusion based on multi-level method and image contrast improvement

Peng Yiyue^{1,2}, He Weiji¹, Gu Guohua¹, Tong Tao³

(1. College of Electro-Optical, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Key Laboratory of Night Vision Technology, Xi'an 710065, China; 3. Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: An effective infrared and visible image fusion algorithm was proposed. Based on Petrović multi-level image fusion system, firstly, it was enriched with the edge components from high-frequency information to get higher image quality. Secondly, a method to enhance the contrast of the fused image which make a further improvement in the image quality by analyzing characteristics and the physical characteristics of the targets in infrared and visible images was given. The subjective observation and comparison of objective indexes prove together that the proposed algorithm does a better job than other comparing methods and the contrast enhancement method can be widely used and improve the visible and infrared fused images' quality obviously.

Key words: image fusion; multi-level fusion; infrared and visible images; contrast improvement

收稿日期: 2012-08-15; 修订日期: 2012-09-17

基金项目: 教育部高等学校博士点专项科研基金(20103219120016); 江苏省“第七批六大人才高峰”项目(DZXX-104);

光电成像技术与系统教育部重点实验室基金(2010OEIOF14); 微光夜视技术重点实验室开放基金(J20110508)

作者简介: 彭逸月(1987-), 女, 硕士生, 主要从事图像处理方面的研究。Email: pengyiyue00@126.com

导师简介: 顾国华(1966-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事光电信息探测与信号处理方面的研究。Email: gghnjust@jmail.com.cn

通讯作者: 何伟基(1981-), 男, 讲师, 博士生, 主要从事光电成像方面的研究。Email: njstheweiji@163.com

0 引言

图像融合于 20 世纪 70 年代后期被提出。使用多传感器可以得到同一场景不同空间、时间、光谱分辨率等特性的图像,例如红外和可见光图像。多源图像间具有互补性。图像融合整合这些互补信息,去除冗余,获得一幅信息延伸、增强后的图像。将红外和可见光图像结合,能够既发现隐蔽目标,又观察到场景信息。近年来,各类融合技术在融合图像质量、算法运行速度上不断改进和提高。军事、商业及民用需求都极大地推动了融合技术的发展。图像融合方法很多,根据所侧重的算法或方式,有基于单个像素的加权法、多分辨率分析法、基于区域的融合方法、彩色融合等。而基本的融合规则有像素加权法、取大法^[1]、区域能量法^[2]、对比度方法^[3]等。目前应用最广泛的是基于多分辨率分析的方法,如图像金字塔、小波分解。它将基本融合规则与图像的多分辨率分解相结合以实现融合。根据融合发生的阶段,可分为像素级、特征级、决策级融合。像素级融合较大程度保留原有信息;特征级融合针对特征信息进行综合处理,处理数据比像素级融合少,对待处理信息实现压缩;决策级融合对图像信息进行鉴别判定、给出决策,层次最高。

融合最基本的作用是更好地显示。观察图像时,图像特征更具吸引力。人眼往往对图像边缘、灰度变化、结构等信息给予较多关注,因而特征级融合的目的性更明确。将最基本的像素级融合与特征级融合相结合,提取有意义的特征信息后反馈给像素级融合,可以明确应当被保留的部分,获得更清晰、自然的图像。Petrović^[4]多层级融合体系可简单地将特征级信息包含进像素级融合,提高融合性能。

1 Petrović 多层级融合方法及改进

1.1 Petrović 多层级融合方法

Petrović 方法用图像边缘做特征级信息来指导融合。输入图像 **A** 和 **B**,具体做法如下。

(1) 分别提取二值边缘图像 E_A 和 E_B ;

(2) 对图像 **A** 取 $X_A=(E_A \text{ XOR } E_B) \text{ AND } E_A$, 同样,对图像 **B** 取 $X_B=(E_B \text{ XOR } E_A) \text{ AND } E_B$;

(3) 对图像中的点用取大法生成选择图:

$$S_{m,n} = \begin{cases} 1, & |A_{m,n}| > |B_{m,n}| \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

(4) 考虑到边缘点邻域范围内的信息同样重要,对 X_A 和 X_B 做小的形态膨胀,再与选择图结合得到 **A** 和 **B** 的融合选择图:

$$S_{m,n}^A = S_{m,n} | \text{dilate}(X_A, k \times k) |_{m,n} \quad (2)$$

$$S_{m,n}^B = (1 - S_{m,n}) | \text{dilate}(X_B, k \times k) |_{m,n} \quad (3)$$

(5) 融合结果:

$$F_{m,n} = S_{m,n}^A A_{m,n} + S_{m,n}^B B_{m,n} \quad (4)$$

应用小波分解时,边缘图像从每一分解层的低频带获得,各方向高频带分别获得相对应的选择图 $S_{m,n}$,从而获得各层各方向上的融合子图像,再进行逆变换得到融合结果。

1.2 基于边缘信息的改进

Petrović 方法从每层的低频信息中提取图像边缘,通常高频信息包含更多图像细节,因此考虑将高频的边缘信息也包含进来。

(1) 对每分解层水平子带 C_k^H 和垂直子带 C_k^V 分量求取平方和并开方, k 为当前分解层:

$$M_{k,A}(i, j) = \sqrt{(C_{k,A}^H(i, j))^2 + (C_{k,A}^V(i, j))^2} \quad (5)$$

$$M_{k,B}(i, j) = \sqrt{(C_{k,B}^H(i, j))^2 + (C_{k,B}^V(i, j))^2} \quad (6)$$

(2) 对 M_k 取二值边缘图像 $EM_{k,A}, EM_{k,B}$;

(3) 低频分量的二值边缘为 $EC_{k,A}, EC_{k,B}$;

(4) 高频与低频边缘的或分量作为边缘图像:

$$E_{k,A} = (EM_{k,A} \text{ OR } EC_{k,A}) \quad (7)$$

$$E_{k,B} = (EM_{k,B} \text{ OR } EC_{k,B}) \quad (8)$$

(5) 用 $E_{k,A}$ 和 $E_{k,B}$ 代替原来的边缘图像。

2 对比度提升方法

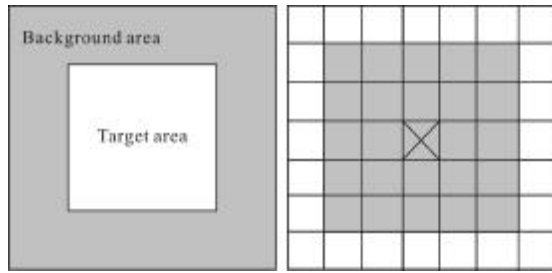
Lallier^[5]设计军用红外与可见光融合系统时,通过分析两类图像的物理性质和目标特性建立融合方法,因图而异给出不同的权重计算方式——红外图像中的目标通常比背景更冷或更热,在图像中体现为暗或亮的灰度区域,融合时这些像素应当分配较高的权重,因此使用区域均值来表征亮暗程度;可见光图像中,对吸引人眼注意力的区域变化之处分配较大权重,采用区域方差表征对比度以及空间的差异。观察红外和可见光图像,有时两者中对应目标都很清晰,但是红外中为亮,可见光中为暗,融合后目标反而不及两幅原始图像中明显。这种情况下,目标区域相对周围背景区域的对比度下降了。区域均值可以表征亮暗程度,因此定义目标区域相

对周围区域的对比度为两部分的灰度平均值之比:

$$R = \frac{\mu_T}{\mu_B} \quad (9)$$

式中: μ_T 为目标区域灰度平均值; μ_B 为背景区域灰度平均值。

在图像中以当前像素为中心, 取 $m_T \times n_T$ 大小的区域为目标区域, 再取 $m \times n (m > m_T, n > n_T)$ 的大区域, 以大区域去除目标区域后的部分为背景区域, 如图 1



(a) 目标及背景区域 (b) 图像中区域选择
(a) Target and background areas (b) Area selection

图 1 目标区域与背景区域示意图

Fig.1 Schematic diagram of target and background areas

所示。若目标与背景的差异较大, 无论是比背景暗还是亮, $|R-1|$ 的值都较大。记某点处红外图像中的对比度为 R_R , 可见光中为 R_V , 融合图像中为 R_F , 分别将 $|R_R-1|$ 和 $|R_V-1|$ 与 $|R_F-1|$ 进行比较, 取最大的对比度作为融合结果应达到的对比度, 对融合图像中的当前像素进行拉伸:

$$NEW_F(i, j) = \frac{R_S}{R_F} F(i, j) \quad (10)$$

式中: $F(i, j)$ 为融合图像中的当前像素点; R_S 为三个对比度中的较大者。对于融合图像中的所有点进行以上的拉伸, 每个点的 R_F 都采用原融合图像计算。对改进的 Petrović 方法进行对比度提升可获得更好的融合结果。

3 融合质量评价指标

主观上, 人眼观察可以直接比较融合结果, 客观上则需要比较图像的一些指标值。

(1) 标准差反映图像的灰度值围绕平均值的离散程度。标准差小, 图像反差小, 分布单一, 反之图像反差大, 有较好的对比度。图像 F 的灰度均值为 μ , 标准差 σ 的计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(i, j) - \mu)^2} \quad (11)$$

(2) 平均梯度是把图像整体梯度模值取平均。梯

度较大的地方往往对应剧烈的灰度变化。平均梯度可以反映整幅图像的细节反差与纹理特征, 同时也在一定程度上反映图像的清晰度。图像 F 的平均梯度 AG 的计算公式为:

$$AG = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{(\Delta F_x^2 + \Delta F_y^2) / 2} \quad (12)$$

式中: $\Delta F_x = F(i+1, j) - F(i, j)$ 和 $\Delta F_y = F(i, j+1) - F(i, j)$ 为 x 和 y 方向的差分。

(3) 空间频率反映空间域总体活跃程度。图像 F 的空间行频率 RF 和列频率 CF 分别为:

$$RF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(i, j) - F(i, j-1)]^2} \quad (13)$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M [F(i, j) - F(i-1, j)]^2} \quad (14)$$

则空间频率 SF 为:

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2} \quad (15)$$

(4) 熵值越大说明图像所含信息量越大。图像灰度级数为 n , 以 p_x 表示灰度值为 x 的像素出现的概率, 图像的灰度分布 $P = \{p_0, p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 。图像熵 E 定义为:

$$E = - \sum_{i=0}^{n-1} p_x \log_2(p_x) \quad (16)$$

4 实验结果与分析

文中方法为对 Petrović 方法边缘改进后再对比度提升。用参考文献[6]提供的图像进行对比实验, 首先使用图 2 进行融合, 比较 Petrović 方法与文中方法的图像融合效果, 如图 3 所示。

人物目标在红外图像(图 2(a))中很亮, 而在可见光(图 2(b))中较暗, Petrović 融合后(图 3(a))人物目标不及两原图像的突出。文中方法的融合图像中, 目标要较为清晰(图 3(b))。将 Petrović 方法和文中方法融合后的人物目标进行局部放大, 如图 4 所示。

从图 4 中可以看出, 文中方法的目标人物较为清晰。表 1 对 Petrović 方法、Petrović 边缘改进以及文



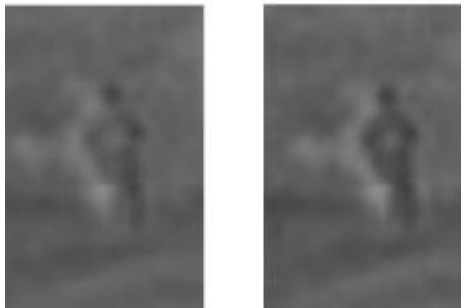
图 2 房屋红外与可见光图像

Fig.2 IR/Visible images of the house



图 3 Petrović 融合结果及文中方法的改进结果

Fig.3 Results of Petrović method and the proposed method



(a) Petrović 方法

(b) 文中方法

(a) Petrović method

(b) The proposed method

图 4 目标人物比较

Fig.4 Comparison of the target person

中方法的融合结果进行客观评价,数据显示,边缘改进使得指标值有所提高,文中方法的指标值最好。

表 1 房屋图像融合的客观评价结果

Tab.1 Objective evaluation results of fused images of the house

	Petrović	Only edge improvement of Petrović	The proposed method
δ	27.885 4	27.885 7	28.213 6
E	6.426 3	6.428 5	6.480 9
AG	5.190 4	5.214 3	5.447
SF	13.55 1	13.57	13.821 5

参考文献[1]以取大法为融合规则,参考文献[2]使用一种区域能量和匹配测度结合的融合规则,参考文献[3]用小波分解的低频与高频信息作对比度。

融合图 5,比较文中方法、平均法、原 Petrović 方法以及参考文献[1-3]的方法,各方法的实验结果如图 6(图 6(a)为平均法,图 6(b)-(d)分别为参考文献[1-3]方法,图 6(e)为 Petrović 方法,图 6(f)为文中方法)所示。图像的质量指标值如表 2 所示。



图 5 人脸红外与可见光图像

Fig.5 IR/Visible images of the face

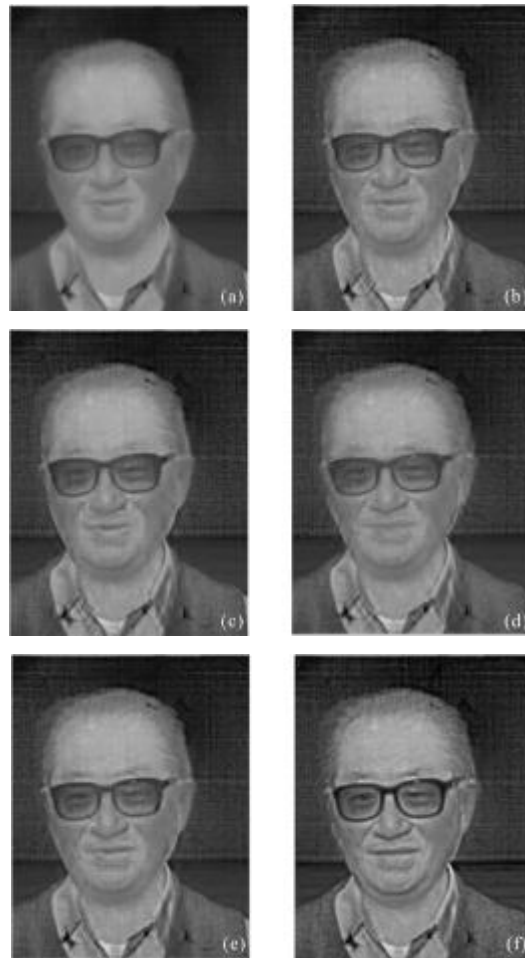


图 6 人脸图像的融合结果

Fig.6 Fusion results of the face image

对比度提升法利用原始红外和可见光图像的亮暗灰度特性对融合结果进行局部对比度的提升,它也适用于其他方法。将参考文献[1-3]得到的融合图像做对比度提升,获得的结果如图 7(图 7(a)为提升平均法,图 7(b)-(d)分别为提升参考文献[1-3]的方法)所示,提升之后所得各图像的质量指标值如表 3 所示。由图 7 及表 2、表 3 的数据对比可知:对比度

提升法极大地改善了融合图像质量, 图像细节得到增强, 显示效果佳。

表 2 人脸图像各方法融合的客观评价结果

Tab.2 Objective evaluation results of fused images of the face

Average method	Method of ref.[1]	Method of ref.[2]	Method of ref.[3]	Petrović	The proposed method
δ	43.089 1	44.244	44.167 6	44.031 6	44.491 6 45.686 2
E	7.195 3	7.321	7.317 4	7.318 8	7.324 7 7.379 2
AG	4.234 7	7.683 8	7.535 7	7.342 8	7.864 7 9.017
SF	8.011 9	14.429 1	14.224 6	13.934 8	14.840 4 16.708 2



图 7 应用对比度提升后的效果

Fig.7 Effects after contrast improvement application

表 3 对比度提升后的客观评价结果

Tab.3 Objective evaluation results after contrast improvement

Average method with contrast improvement	Method of ref.[1] with contrast improvement	Method of ref.[2] with contrast improvement	Method of ref.[3] with contrast improvement	Petrović with contrast improvement
δ	44.513 5	45.449	45.394 9	45.328 8 45.641 5
E	7.301 4	7.372 3	7.369	7.370 1 7.377 4
AG	6.142 5	8.879	8.798 7	8.599 4 8.995 1
SF	11.539 2	16.349 3	16.249 3	15.925 1 16.659 8

5 结 论

文中对参考文献[4]中的 Petrović 多层次融合体系进行边缘信息的改进, 再对获得的融合结果进行对比度的提升, 取得了良好的效果。各类融合方法都离不开像素甄选, 因而无论融合方法如何多变, 融合规则始终是其中的基础。文中的对比方法均以常用融合规则结合相同的小波分解构成, 用于实验比较。比较各方法融合人脸图像的所有指标值可知, 文中方法具有最好的融合质量。比较 Petrović、文中方法以及提升 Petrović 三种融合结果的质量指标可知, 对比度提升法明显改善了各项指标, 边缘信息的改进对原 Petrović 方法有一定的提高。两者结合而成的文中方法效果最佳。

由对比度提升前后的图像和指标的比较可知, 对比度提升方法明显提高了融合图像的质量, 使之更清晰, 细节更明显, 同时具有广泛的适用性。它对于红外和可见光图像中呈现相反灰度的对应位置在融合后变模糊的情况具有明显的改善, 无论是小幅人脸(图 5)还是大幅场景(图 2)的融合, 这种情况都得到了改善(图 4, 图 7)。客观指标(表 2 与表 3)也反映出图像质量明显提高。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Burt P J, Kolczynski R J. Enhanced image capture through fusion [C]//The 4th International Conference on Computer Vision, 1993: 173-182.
- [3] Pu Tian, Ni Guoqiang. Contrast-based image fusion using the discrete wavelet transform [J]. Optical Engineering, 2000, 39(8): 2075-2082.
- [4] Vladimir Petrović. Multi-level image fusion [C]//SPIE, 2003, 5099: 87.
- [5] Lallier E, Wing Military. A real time pixel-level based image fusion via adaptive weight averaging [C]//Proceeding of the 3th International Conference on Information Fusion, 2000, 2: WEC3/3-WEC313.
- [6] Imagefusion.org.Mission [EB/OL][2012-07-01]http://www.imagefusion.org.