

文章编号: 1672-8785(2012)06-0007-05

红外与可见光图像融合质量评价方法综述

王跃华 陶忠祥

(空军航空大学航空军械工程系, 吉林 长春 130022)

摘 要: 图像融合质量评价标准是目前图像融合中急需解决的问题之一。在不同的应用场景中, 选择适当的融合算法对现有融合算法进行改进以及研究新的融合算法都是至关重要的。综述了无参考图像的客观质量评价方法, 重点介绍了基于结构信息的图像融合质量评价方法, 最后探讨了图像融合质量评价方法的发展趋势。

关键词: 图像融合; 图像质量评价; 人类视觉系统; 结构相似度

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.06.002

Overview of Quality Evaluation Methods of Fused Infrared and Visible Images

WANG Yue-hua, TAO Zhong-xiang

(Department of Aviation Ordnance Engineering, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: Quality evaluation of fused images is one of the problems to be solved badly in image fusion at present. In different scenes, both choosing proper fusion algorithms to improve the existing fusion algorithm and studying new fusion algorithms are very important. The objective quality evaluation methods with no reference are overviewed. The image fusion quality evaluation method based on structural similarity is described. Finally, the development trend of image fusion quality evaluation methods is discussed.

Key words: image fusion; image quality evaluation; human visual system; structural similarity

0 引言

图像融合是指对源于不同图像传感器的图像进行一定的处理, 提取各图像中的信息, 并最终将其合成为一幅新的图像以供进一步观察和处理的过程。其目的是通过对多幅图像之间的冗余数据进行处理来提高图像的可靠性, 并通过对多幅图像之间的互补信息进行处理来提高图像的清晰度。图像融合技术已经取得了很大的进步, 但是对图像融合质量的评价却仍然没有很好的解决办法。其主要原因是同一融合算法

对于不同类型的图像具有不同的融合效果; 对于用同一融合算法得到的图像, 由于观察者感兴趣的部分不同, 他们判断出的融合效果也不同^[1-2]。

目前, 图像融合质量评价方法主要可以分为主观评价方法和客观评价方法两种。其中, 主观评价方法是由测试者直接对图像进行质量评价的, 它具有简单、直观等特点。然而在人为评价融合质量的过程中, 有很多主观因素(比如测试者的专业背景、心理和动机等)会影响评价结

收稿日期: 2012-04-13

作者简介: 王跃华(1988-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与图像融合。

E-mail: wufu61@163.com

果。而客观评价方法则具有成本低、易于实现以及可结合到应用系统中等优点,但它与人的主观感受有所出入^[3]。客观评价方法根据有无参考图像可分为全参考质量评价、弱参考质量评价和无参考质量评价三种^[4]。由于红外与可见光图像融合无法获得标准参考图像,以参考图像为基础的客观评价方法^[5]不能用于评价红外与可见光图像融合的质量。本文综述的评价方法是可以应用到红外与可见光图像融合质量评价中的无标准参考图像的客观评价方法。

1 无标准参考图像的客观评价方法

图像融合质量的客观评价方法大体可以分为三类:传统的图像融合质量评价方法、基于人类视觉系统的图像融合质量评价方法和基于结构信息的图像融合质量评价方法。

1.1 传统的图像融合质量评价方法

传统的图像融合质量评价方法^[6-9]包括基于图像统计特性的评价方法、基于图像信息量的评价方法以及其他评价方法。

1.1.1 基于统计特性的图像融合质量评价方法

(1) 图像均值与标准差

图像均值为像素的灰度平均值,对于人眼反映为亮度;标准差反映图像灰度相对于灰度平均值的离散情况。融合图像的标准差越大,图像的灰度级分布越分散,融合效果越好。

(2) 偏差指数

偏差指数为融合图像与原图像差值的灰度平均值,反映融合图像与原图像光谱信息的差异和光谱特性变化的平均程度。偏差指数的值越大,光谱失真越大,融合效果越差。

(3) 相关系数

相关系数反映融合图像与原图像之间光谱特征的相似程度。相关系数的值越大,说明融合图像从原图像中获得的信息越多,融合效果越好。

(4) 高频分量相关系数

高频分量相关系数是指融合图像与原图像高频分量的相关程度,它可以用来评价融合图

像的空间分辨率的大小。

1.1.2 基于信息量的图像融合质量评价方法

(1) 信息熵

信息熵值的大小反映融合图像信息量的多少。

(2) 交叉熵与总体交叉熵

交叉熵又称相对熵,可以用来测定两幅图像灰度分布的信息差异。交叉熵值越小,则融合图像从原图像中提取的信息量越多。总体交叉熵则是使用融合图像与两幅原图像的交叉熵作简单平均或均方根而得到的。总体交叉熵越小,说明融合图像从原图像中提取的信息越多,融合效果越好。

(3) 平均互信息

互信息又称相关熵,表示两个或多个变量之间的相关性,或者一个变量包含另一个变量或多个变量的信息量。它可以用来衡量融合图像从原图像中继承信息的多少。平均互信息则是融合图像与两幅原图像的互信息的均值。平均互信息越大,表示融合图像从原图像中提取的信息越丰富,融合效果越好。

1.1.3 其他图像融合质量评价方法

(1) 平均梯度

平均梯度又称图像清晰度,可以敏感地反映图像中的微小细节,同时还可以反映出图像的纹理变换特征。它可以用来评价融合图像的清晰程度。通常平均梯度越大,表示图像层次越多,图像也越清晰。

(2) 空间频率

空间频率反映了一幅图像的总活跃程度,包括空间行频率和空间列频率。总体空间频率为空间行频率和空间列频率的均方根。空间频率越大,则融合图像的活跃程度越高,融合效果越好。

传统的图像融合质量评价方法主要考虑融合图像本身的统计特性和信息量,或者考虑融合图像与原图像之间的交互信息量等特征。其计算简单,易于实现,但可能与主观评价并不一致。

1.2 基于人类视觉系统的图像融合质量评价方法

由于传统的图像融合质量评价方法没有考虑人眼的感知特性, 其评价结果在许多情况下往往与主观评价不一致。近年来, 随着人眼视觉系统 (Human Visual System, HVS) 研究的不断深入, 基于人眼基本视觉特性的图像融合质量评价方法不断出现。

HVS 系统的主要特性包括对比敏感度带通、多通道结构、掩盖效应、视觉非线性、多通道间不同激励的相互作用以及视觉心理特征。其中, 研究较多且较有影响的特性主要有视觉非线性、多通道及对比敏感度带通等。

栗振风等人^[10]根据 HVS 特性, 采用加权处理方法将 HVS 引入传统客观评价方法中, 建立了一种视觉加权均方误差的图像质量客观评价方法, 并证明了该方法的有效性。丁绪星等人^[11]根据小波变换与 HVS 多通道特性相匹配的特点, 通过用对比度敏感函数 (CSF) 的带通特性^[12]简化 HVS 模型, 建立了一种与人的视觉评价保持良好的一致性的图像质量评价方法。刘明晶^[13]、王正友^[14]和邢素霞^[15]等人通过分析 HVS 系统的对比度敏感特性, 提取了影响图像质量的相关因素 (亮度、清晰度和相关度指标或信息量), 提出了基于视觉感知质量尺度的评价方法, 取得了优于传统图像质量评价方法的效果。王坤^[16]和陆旭光^[17]等人把人眼对不同区域所具有的视觉选择特性与客观图像质量评价方法结合起来, 提出了一种基于视觉感兴趣区的图像质量评价方法。该方法通过分析影响视觉兴趣性的亮度、灰度和面积等因素, 得出了不同区域的兴趣性加权系数, 实现了对客观图像质量评价方法的改进。实验结果表明, 此种方法优于传统的客观评价方法。Xydeas C 等人根据人眼视觉对局部变化敏感的特性, 认为图像的视觉感受与其边缘信息有关, 并选取原图像和融合图像边缘信息的相似性作为评价指标来衡量融合算法保留原图像“重要”信息的能力, 并最终提出了一种像素级图像融合质量客观评价方法^[2]。

在红外与可见光图像融合质量评价中引入基于人类视觉特性的图像质量评价方法, 直接评价融合图像的质量或者计算出融合图像对原图像保留重要信息的多少均是可行的。此种方法考虑到人眼的视觉特性, 所以它能够取得与主观评价一致的结果。但由于人类视觉系统极其复杂, 人们对它的研究还不够透彻, 对视觉心理的研究也不够深入, 建立的视觉模型还不够成熟, 因此, 基于人类视觉系统的图像融合质量评价方法还有待于进一步发展。

1.3 基于结构信息的图像融合质量评价方法

图像信号是高度结构化的, 其像素间具有很强的相关性。这些相关性携带了场景中物体结构的重要信息。Wang Zhou 等人由此提出了一种基于结构失真的图像质量评价方法, 即结构相似 (Structural Similarity, SSIM) 方法^[18]。他们认为图像的亮度和对比度独立于结构信息, 所以对图像的评价可以近似表示为对亮度、对比度以及图像结构失真的评价。该方法在某种程度上绕开了自然图像内容的复杂性及多通道去相关问题, 可直接用来评价图像信号的结构相似性。

下面介绍一下基本的 SSIM 模型。

设 X 和 Y 表示待比较的两幅图像, 则它们之间的结构相似度可定义为

$$SSIM(X, Y) = l(X, Y) \cdot c(X, Y) \cdot s(X, Y) \quad (1)$$

式中,

$$\begin{cases} l(X, Y) = \frac{2\mu_X \mu_Y + C_1}{\mu_X^2 + \mu_Y^2 + C_1} \\ c(X, Y) = \frac{2\sigma_X \sigma_Y + C_2}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2} \\ s(X, Y) = \frac{\sigma_{XY} + C_3}{\sigma_X \sigma_Y + C_3} \end{cases} \quad (2)$$

式 (1) 和式 (2) 中的 μ_X 、 μ_Y 、 σ_X^2 、 σ_Y^2 和 σ_{XY} 分别为图像 X 、 Y 的均值、方差和协方差; C_1 、 C_2 、 $C_3=C_2/2$ 为小的常量, 以避免 SSIM 定义式中分母为零而出现不稳定的情况。

对于红外与可见光图像及其融合图像,可以分别计算出原图像与融合图像之间的结构相似度 $SSIM(A,F)$ 及 $SSIM(B,F)$ 。它们可以用来衡量融合图像的信息保留程度。

SSIM 模型不能较好地评价严重模糊的降质图像,对图像不同失真类型的敏感程度也不同。杨春玲等人^[19-20]将梯度作为图像的主要结构信息,提出了一种基于梯度的结构相似度 (GSSIM) 图像质量评价方法;王宇庆等人^[21]利用局部方差可以较好地体现图像细节信息的特点,提出了一种基于局部方差和结构相似度的图像质量评价方法。该方法能够较好地评价模糊图像的质量,在实验中取得了优于 SSIM 的效果。刘显峰^[22]认为可以结合考虑原图像与融合图像之间的相似性及交互信息量来对融合质量进行评价,并提出了以相似性作为系数的评价方法和以交互信息量作为系数的评价方法。他们通过实验验证了此种方法的有效性。

观察者对图像不同区域通常会有不同的需求,人眼对不同区域的感觉也往往不同。因此,杨琬等人^[23]将图像划分为感兴趣区域和非感兴趣区域,在感兴趣区域内使用基于梯度的 SSIM 评价方法,而在非感兴趣区域内沿用经典的结构相似评价方法;张勇等人^[24]则针对红外与可见光传感器成像特性形成的不同图像特征,根据重视程度的不同对感兴趣区域和剩余区域分配不同的权重,提出基于感兴趣区域加权的结构相似度;杨威等人^[25]通过分析数字图像中的亮度、纹理细节和空间位置等因素对人眼视觉特性的影响,对结构相似度的各块进行了加权,然后用获得的加权平均的结构相似度来对融合图像进行评价。这些方法在实验中均显示出了与主观评价一致的结果。

将 SSIM 方法应用到红外与可见光图像融合质量评价中是可行的,而且通过使用梯度信息、感兴趣区域权重、互信息和局域方差等方法对结构信息进行加权处理可以全面反映原图像与融合图像之间的关系,因而可以获得与主观评价相一致的评价结果。用此种方法对融合质量进行评价简单易行,是未来研究图像质量评价的一个重要方向。

2 图像融合质量评价方法展望

无标准参考图像的融合质量评价方法已经成为人们研究的热点。通过图像融合质量评价来显示图像融合算法的优劣,对于图像融合算法的选择起到了很大的作用。图像融合质量评价算法的目标是得到与主观评价相一致的评价结果。人们近年来提出的图像融合质量评价算法均在不同程度上采用了 HVS 特性,或者在图像中提取出人眼感兴趣的结构化信息。这种加入 HVS 特性的算法要优于单纯的客观评价算法。因此,将主客观评价方法相结合已经成为评价算法的一个发展趋势。

无标准参考图像的客观评价方法依然是图像融合质量评价中的难点。在图像融合处理的实际应用中,人们会遇到各种不同质量的图像。对其融合质量进行准确评价并结合评价作进一步的分析或处理则具有重要的实用价值。

在红外与可见光图像融合质量评价中使用无参考图像的融合质量评价方法时,需要注意并不是所有的无参考的质量评价方法都是适用的。在实用应用中还需要考虑红外与可见光图像的图像特性,并认真考虑算法的有效性。

参考文献

- [1] 胡良梅,高隼,何柯峰. 图像融合质量评价方法的研究 [J]. 电子学报, 2004, 25(12): 218-221.
- [2] Xydaes C, Petrovi V. Objective Image Fusion Performance Measure [J]. *Electronic Letters*, 2000, 36(4): 308-309.
- [3] 周景超,戴汝为,肖柏华. 图像质量评价研究综述 [J]. 计算机科学, 2008, 35(2): 1-4.
- [4] 杨琬,吴乐华,范晔. 数字图像客观质量评价方法研究 [J]. 通信技术, 2008, 27(7): 244-246.
- [5] Firooz Sadjadi. Measures of Effectiveness and Their Use in Comparative Image Fusion Analysis [C]. Toulouse: IGARSS, 2003.
- [6] 胡钢,刘哲,徐小平,等. 像素级图像融合技术的研究与进展 [J]. 计算机应用研究, 2008, 25(3): 14-17.
- [7] 敬忠良,肖刚,李振华. 图像融合——理论与应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [8] 孙即祥. 图像处理 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [9] 李俊山,杨威,张雄美. 红外图像处理、分析与融合 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.

- [10] 栗振风, 丁艺芳, 张文俊. 一种基于视觉加权处理的图像质量评价方法 [J]. 上海大学学报 (自然科学版), 1998, 4(6): 645-652.
- [11] 丁绪星, 朱日宏, 李建欣. 一种基于人眼视觉特性的图像质量评价 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(2): 190-194.
- [12] Xin L. Blind Image Quality Assessment [C]. New York: International Conference of Image Processing, 2002.
- [13] 刘明晶, 刘国栋, 李澄清, 等. 一种基于视觉感知的图像质量评价方法 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(2): 470-473.
- [14] 王正友, 黄隆华. 基于对比度敏感度的图像质量评价方法 [J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1857-1859.
- [15] 王坤, 高立群. 一种新的图像质量评价方法 [C]. 北京: 2006 中国控制与决策学术年会论文集, 2006.
- [16] 陆旭光, 汪岳峰, 胡文刚, 等. 基于视觉感兴趣区的图像质量评价方法 [J]. 微计算机信息, 2005, 21(30): 1-5.
- [17] 邢素霞, 陈天华, 孙梅. 红外与微光图像融合质量评价方法研究 [J]. 红外技术, 2009, 31(7): 407-410.
- [18] Zhou Wang, Alan C B. A Universal Image Quality Index [J]. IEEE Signal Processing, 2002, 9(3): 81-84.
- [19] 杨春玲, 旷开智, 陈冠豪, 等. 基于梯度的结构相似度的图像质量评价方法 [J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2006, 34(9): 22-25.
- [20] 杨春玲, 陈冠豪, 谢胜利. 基于梯度信息的图像质量评判方法的研究 [J]. 电子学报, 2007, 30(7): 1313-1317.
- [21] 王宇庆, 刘维亚, 王勇. 一种基于局部方差和结构相似度的图像质量评价方法 [J]. 光电子激光, 2008, 19(11): 1546-1553.
- [22] 刘显峰. 基于结构相似度的图像融合质量评价 [D]. 广州: 暨南大学, 2007.
- [23] 杨琬, 吴乐华, 李淑云, 等. 基于感兴趣区域的图像质量评价方法 [J]. 计算机应用, 2008, 28(5): 1310-1312.
- [24] 张勇, 金伟其. 基于结构相似度与感兴趣区域的图像融合评价方法 [J]. 光子学报, 2011, 40(2): 311-315.
- [25] 杨威, 赵剡, 许东. 基于人眼视觉的结构相似度图像质量评价方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(1): 1-4.

新闻动态 News

美国海军无人机选用高光谱短波红外传感器

据 www.laserfocusworld.com 网站报道, 美国海军最近选择 Headwall Photonics 公司生产的高效率高光谱短波红外传感器用作机载用途, 其光谱范围为 950 ~ 2500 nm。通过在美国海军研究实验室 (NRL) 对这种传感器进行严格的性能测试, 他们为无人机研制了可靠的高光谱传感器载荷。其中, 具体测试包括光谱分辨率、空间分辨率以及 MTF 性能测试等内容。

Headwall Photonics 公司表示, 高光谱成像是一种可以识别传感器视场内物体的关键传感技术。该技术不是单独依靠视觉现象进行判断, 而是基于目标的化学“指纹”或光谱特征来进行识别。他们是在一种已取得专利权的传感器的基础上研制出这种可在非常恶劣的机载工作环境下进行高空间与高光谱成像的高光谱传感器

的。另外, 该传感器还具有信噪比高和重量轻的特点。

这种高效率高光谱传感器通常具有以下几种光谱范围: 250 ~ 600 nm 紫外波段; 380 ~ 1000 nm 可见光近红外波段; 550 ~ 1700 nm (扩展的) 可见光近红外波段; 900 ~ 1700 nm 近红外波段; 950 ~ 2500 nm 短波红外波段; 中波红外和长波红外模式可根据要求确定。



□ 岳桢干