

文章编号: 0253-2239(2010)s100408

基于视觉信息保真度的图像拼接质量客观评价方法

余宏生^{1,2} 金伟其¹

(¹ 北京理工大学光电学院光电成像技术与系统教育部重点实验室, 北京 100081)

² 黄石理工学院数理学院, 湖北 黄石 435000

摘要 针对实时数字图像拼接系统对拼接图像进行客观质量评价的需要, 考虑到采用传统客观评价方法存在与人眼主观评价结果不相符的缺陷, 提出了一种基于视觉信息保真度(VIF)的图像拼接质量客观评价方法。首先, 在假设图像源符合高斯尺度混合(GSM)模型的前提下, 将图像拼接算法作为图像信号失真通道, 而且考虑人眼视觉内部神经元噪声特性, 建立了基于 VIF 的数字图像拼接质量客观评价模型, 推导得到了一种拼接图像质量评价指标(MVIF); 然后, 详细介绍了 MVIF 评价算法的参数估计方法; 最后, 采用多组拼接图像进行了仿真对比实验对 MVIF 评价算法的性能进行了验证。实验结果表明, 与现有方法相比, 该方法能够对拼接图像质量进行正确评价, 其客观评价结果与主观评价结果更加一致。

关键词 图像处理; 图像拼接; 高斯尺度混合模型; 视觉信息保真度; 客观质量评价

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201030.s100408

Image Mosaicking Quality Objective Assessment Method Based on Visual Information Fidelity

Yu Hongsheng^{1,2} Jin Weiqi¹

¹ Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education, School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

² School of Mathematics and Physics, Huangshi Institute of Technology, Huangshi, Hubei 435000, China

Abstract Objective quality assessment of image mosaic is of fundamental necessary in real-time digital image mosaic system. An image mosaicking quality objective assessment method based on visual information fidelity (VIF) is proposed considering that the results using traditional objective assessment methods do not agree with the results of the human subjective assessment methods. Firstly, assuming that the image sources meet Gaussian scale mixture (GSM) model and regarding image mosaic algorithms as image signal distortion channel, and considering human visual noise characteristics within neurons, VIF digital image mosaic objective quality assessment model is established, and a mosaic image quality evaluation index mosaic visual information fidelity (MVIF) is also derived. And then, the method of estimating the parameters in MVIF assessment algorithm is introduced in detail. Finally, the performance of MVIF assessment algorithm has been validated with lots of mosaic images. The experiment indicates that the method can evaluate mosaic image quality correctly and its objective evaluation results are more consistent with subjective evaluation results than those of traditional methods.

Key words image processing; image mosaic; Gaussian scale mixture (GSM); visual information fidelity (VIF); objective quality assessment

OCIS codes 100.0100; 100.2000; 110.3055

收稿日期: 2010-06-01; 收到修改稿日期: 2010-07-07

基金项目: 湖北省教育厅重点研究项目(D20104402)资助课题。

作者简介: 余宏生(1968—), 男, 博士研究生, 副教授, 主要从事光电成像技术方面的研究。E-mail: yhs99981@sina.com

导师简介: 金伟其(1960—), 男, 博士, 教授, 主要从事夜视与红外技术、光电图像处理等方面的研究。

E-mail: jinweiqi@bit.cn

1 引 言

数字图像拼接是指将具有重叠区的多幅图像或多帧视频图像通过数字配准和融合,获得单幅宽视场图像或者动态全景图。数字图像拼接技术已广泛应用于卫星遥感^[1]、医学探查^[2]和无人机监视与搜索^[3]等各种领域。

数字图像拼接算法的目标是利用多幅图像或多帧视频图像生成一幅人眼视觉上感觉“真实”的拼接图像。理想情况下,拼接图像必须同时具备两个特性^[4]:1)拼接痕迹应该消除或减弱到人眼视觉无法感知的程度;2)拼接图像的几何特性与亮度特性应尽可能与输入图像保持一致。但是,在实际应用场合中,由于光学系统渐晕造成的非均匀性以及场景变化时系统自动增益的变化,可能使输入图像之间出现亮度差异,导致拼接后的图像出现拼接痕迹;而且,输入图像之间往往存在平移、缩放和旋转等多种几何失真。因此,图像拼接时,为了减小拼接痕迹和进行图像配准,必须对输入图像进行亮度调整和几何变换,如果无法确定拼接后图像的质量的优劣,就无法选择合适的图像拼接算法。拼接图像的质量评价是改进图像配准算法和图像融合算法的关键,也是评价拼接图像是否满足人眼视觉要求的重要手段。

非实时图像拼接应用中,图像拼接质量可采用主观评价方法,即通过人眼视觉系统(HVS)对拼接图像进行主观评价。由于主观评价方法费时费力,无法应用于实时拼接。在传统的全参考质量评价方法中,均方根误差(RMSE)和峰值信噪比(PSNR)方法得到广泛的应用。但是,其评价结果有时与主观视觉质量存在明显差异。结构相似性(SSIM)客观评价方法^[4]将图像相似性分成亮度、对比度和结构三个方面进行综合评价,该方法只能在假设参考图像是完美的前提下,评价失真图像与参考图像的结构相似程度,无法对失真图像的实际视觉质量做出评价。Z. Wang等^[5]基于高斯尺度混合(GSM)模型和信息理论,通过对人眼视觉失真通道和信号失真通道的成功建模,提出了视觉信息保真度(VIF)图像质量评价方法。本文通过建立图像拼接质量评价理论模型,提出了基于VIF的图像拼接质量客观评价指标(MVIF),并通过仿真实验对该方法进行了验证。

2 基于 VIF 的图像拼接质量客观评价理论模型

VIF 图像质量评价方法依赖于自然场景统计模

型、图像信号失真通道和人眼视觉失真模型^[5]。同样,基于VIF的图像拼接质量客观评价理论模型是需满足以下假设:1)图像源的统计分布满足GSM模型;2)图像的小波域系数分块之间互不相关,各小波子带相互独立;3)人眼视觉失真解释为内部神经元的噪声特性;4)图像拼接算法建模为图像信号失真通道,并且图像配准参数预知。图1为基于VIF的图像拼接质量客观评价理论模型结构图。

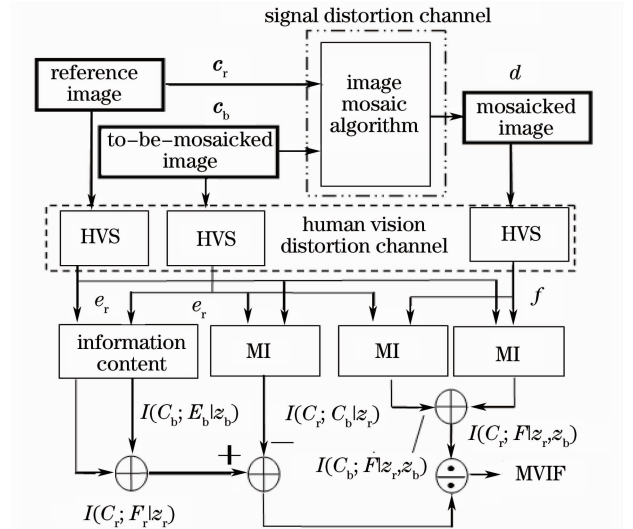


图 1 基于 VIF 的图像拼接质量客观评价理论模型
Fig. 1 VIF-based image mosaic quality objective assessment theory model

2.1 图像源模型

图像拼接系统的图像源包括参考图像和待拼接图像,假设图像源符合 GSM 分布,则从参考图像和待拼接图像的小波子带的不重叠块中提取的小波系数 c_r, c_b 是 GSM 模型中的随机向量^[6]:

$$c_r = \sqrt{z_r} u_r, \quad (1)$$

$$c_b = \sqrt{z_b} u_b, \quad (2)$$

式中 u_r, u_b 是 0 均值的高斯向量, $\sqrt{z_r}, \sqrt{z_b}$ 是独立的标量随机变量。向量 c_r, c_b 具有相同的协方差结构 C_{r_u}, C_{b_u} , 每一个子带的小波系数被分成 M 个不重叠块。由于块不重叠,当乘数 $\sqrt{z_r}, \sqrt{z_b}$ 已知时,假设系数块之间不相关;块内系数之间的相关性通过协方差矩阵 C_{r_u}, C_{b_u} 建模。

2.2 失真模型

将图像拼接算法作为图像信号失真通道。拼接图像可视为图像源在小波域的信号 c_r, c_b 在增益 g_r, g_b 作用下的输出信号与附加噪声 v 叠加的结果:

$$d = g_r c_r + g_b c_b + v, \quad (3)$$

式中 \mathbf{d} 表示拼接图像相应子带的随机向量场, g_r, g_b 表示确定的标量增益场, 而 \mathbf{v} 是独立的固定 0 均值白噪声场, 协方差为 $C_v = \sigma_v^2 I$ 。

2.3 人眼视觉失真模型

人眼视觉失真模型主要考虑人眼内部神经元噪声的作用。人眼视觉失真模型在小波变换域中简单地建模为固定的 0 均值附加白高斯噪声:

$$\mathbf{e}_r = \mathbf{c}_r + \mathbf{n}, \quad (4)$$

$$\mathbf{e}_b = \mathbf{c}_b + \mathbf{n}, \quad (5)$$

$$\mathbf{f} = \mathbf{d} + \mathbf{n}, \quad (6)$$

式中 $\mathbf{e}_r, \mathbf{e}_b$ 和 \mathbf{f} 分别表示人眼视觉感知参考图像、待拼接图像和拼接后图像的相同小波子带的随机系数向量; \mathbf{n} 表示在小波系数中独立的白高斯噪声, 协方差矩阵为 $C_n = \sigma_n^2 I$ 。

2.4 图像源互信息模型

图像源互信息是指参考图像和待拼接图像的共有信息。在计算参考图像和待拼接图像信息总和时, 它被重复叠加, 因此, 要获取图像源实际的信息量, 必须在信息总和中去除图像源互信息。图像源互信息的计算模型如图 2 所示。假设参考图像和待拼接图像的重叠区域为 $\mathbf{c}_{ro}, \mathbf{c}_{bo}$, 则

$$\mathbf{c}_{bo} = g_o \mathbf{c}_{ro} + \mathbf{v}_o, \quad (7)$$

式中 g_o 是确定的标量增益场, \mathbf{v}_o 是独立的 0 均值白噪声场, 协方差为 $C_{ou} = \sigma_o^2 I$ 。

$$\mathbf{e}_o = \mathbf{c}_{ro} + \mathbf{n}; \quad \mathbf{f}_o = \mathbf{c}_{bo} + \mathbf{n}, \quad (8)$$

式中 $\mathbf{e}_o, \mathbf{f}_o$ 是人眼视觉感知参考图像及待拼接图像重叠区的相同小波子带的随机系数向量。

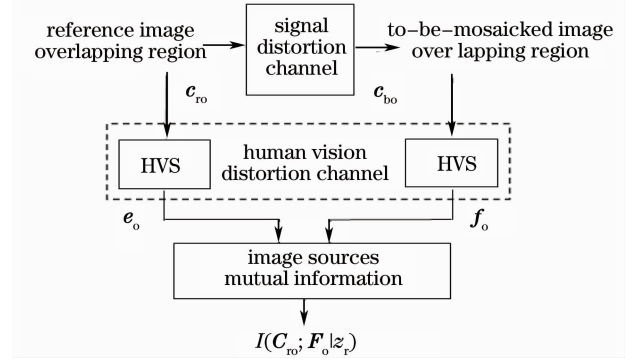


图 2 图像源互信息模型

Fig. 2 Mutual information model of image sources

3 基于 VIF 的拼接图像质量评价指标及参数估计

令 $\mathbf{C}_r = \{\mathbf{c}_{r1}, \mathbf{c}_{r2}, \dots, \mathbf{c}_{rN}\}$, $\mathbf{C}_b = \{\mathbf{c}_{b1}, \mathbf{c}_{b2}, \dots, \mathbf{c}_{bN}\}$ 表示随机向量场 $\mathbf{c}_r, \mathbf{c}_b$ 的 N 个实现的集合。这些向量是从小波子带不重叠的系数块中提取。利用 (3)~(8) 式中的 $\mathbf{d}, \mathbf{e}_r, \mathbf{e}_b, \mathbf{f}, \mathbf{c}_{bo}, \mathbf{e}_o, \mathbf{f}_o$ 相似地定义 $\mathbf{D}, \mathbf{E}_r, \mathbf{E}_b, \mathbf{F}, \mathbf{C}_{bo}, \mathbf{E}_o$ 和 \mathbf{F}_o , 且令 $\mathbf{Z}_r = \{z_{r1}, z_{r2}, \dots, z_{rN}\}$, $\mathbf{Z}_b = \{z_{b1}, z_{b2}, \dots, z_{bN}\}$; 同时, 假设模型参数 $g_r, g_b, g_o, \sigma_v^2, \sigma_o^2$ 和 σ_n^2 均已知。

对于参考图像, 给定 \mathbf{Z}_r , 则 \mathbf{C}_r 和 \mathbf{E}_r 之间的互信息^[7]为

$$I(\mathbf{C}_r; \mathbf{E}_r | \mathbf{z}_r) = \sum_{i=1}^N I(\mathbf{c}_{ri}; \mathbf{e}_{ri} | z_{ri}) = \sum_{i=1}^N [h(\mathbf{c}_{ri} + \mathbf{n}_i | z_{ri}) - h(\mathbf{n}_i | z_{ri})] = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \text{lb} \left(\frac{|\mathbf{z}_{ri} \mathbf{C}_{ru} + \sigma_n^2 I|}{|\sigma_n^2 I|} \right), \quad (9)$$

式中 $h(c)$ 表示连续随机向量的熵微分。同理, 对于待拼接图像有

$$I(\mathbf{C}_b; \mathbf{E}_b | \mathbf{z}_b) = \sum_{i=1}^N I(\mathbf{c}_{bi}; \mathbf{e}_{bi} | z_{bi}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \text{lb} \left(\frac{|\mathbf{z}_{bi} \mathbf{C}_{bu} + \sigma_n^2 I|}{|\sigma_n^2 I|} \right), \quad (10)$$

类似地, 对于拼接图像:

$$I(\mathbf{C}_r; \mathbf{F} | \mathbf{z}_r, \mathbf{z}_b) = \sum_{i=1}^N [h(g_{ri} \mathbf{c}_{ri} + g_{bi} \mathbf{c}_{bi} + \mathbf{v}_i + \mathbf{n}_i | z_{ri}) - h(g_{bi} \mathbf{c}_{bi} + \mathbf{v}_i + \mathbf{n}_i | z_{ri})] = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \text{lb} \left[\frac{|\mathbf{g}_{ri}^2 \mathbf{z}_{ri} \mathbf{C}_{ru} + \mathbf{g}_{bi}^2 \mathbf{z}_{bi} \mathbf{C}_{bu} + (\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2) I|}{|\mathbf{g}_{bi}^2 \mathbf{z}_{bi} \mathbf{C}_{bu} + (\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2) I|} \right], \quad (11)$$

同理:

$$I(\mathbf{C}_b; \mathbf{F} | \mathbf{z}_r, \mathbf{z}_b) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \text{lb} \left[\frac{|\mathbf{g}_{ri}^2 \mathbf{z}_{ri} \mathbf{C}_{ru} + \mathbf{g}_{bi}^2 \mathbf{z}_{bi} \mathbf{C}_{bu} + (\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2) I|}{|\mathbf{g}_{ri}^2 \mathbf{z}_{ri} \mathbf{C}_{ru} + (\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2) I|} \right], \quad (12)$$

$$I(\mathbf{C}_{ro}; \mathbf{F}_o | \mathbf{z}_r) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \text{lb} \left[\frac{|\mathbf{g}_{oi}^2 \mathbf{z}_{oi} \mathbf{C}_{ou} + (\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2) I|}{|(\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2) I|} \right]. \quad (13)$$

由于协方差矩阵 $\mathbf{C}_{ru}, \mathbf{C}_{bu}, \mathbf{C}_{ou}$ 是对称的, 它可写成对角矩阵, 其对角线上的一组特征值分别为 $\lambda_{r1}, \lambda_{r2}, \dots, \lambda_{rM}, \lambda_{b1}, \lambda_{b2}, \dots, \lambda_{bM}, \lambda_{o1}, \lambda_{o2}, \dots, \lambda_{oM}$, 于是 (9)~(13) 式可写成^[7]

$$I(C_r; E_r | z_r) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \text{lb} \left(1 + \frac{z_{ri} \lambda_{rj}}{\sigma_n^2} \right), \quad (14)$$

$$I(C_b; E_b | z_b) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \text{lb} \left(1 + \frac{z_{bi} \lambda_{bj}}{\sigma_n^2} \right), \quad (15)$$

$$I(C_{ro}; F_o | z_r) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \text{lb} \left(1 + \frac{g_{oi}^2 z_{oi} \lambda_{oj}}{\sigma_{o,i}^2 + \sigma_n^2} \right), \quad (16)$$

$$I(C_r; F | z_r) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \text{lb} \left[1 + \frac{g_{ri}^2 z_{ri} \lambda_{rj}}{g_{bi}^2 z_{bi} \lambda_{bj} + (\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2)} \right], \quad (17)$$

$$I(C_b; F | z_b) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \text{lb} \left[1 + \frac{g_{bi}^2 z_{bi} \lambda_{bj}}{g_{ri}^2 z_{ri} \lambda_{rj} + (\sigma_{v,i}^2 + \sigma_n^2)} \right], \quad (18)$$

式中 $I(C_r; E_r | z_r)$, $I(C_b; E_b | z_b)$ 表示参考图像和待拼接图像的信息内容; $I(C_{ro}; F_o | z_r)$ 表示图像源互信息. $I(C_r; F | z_r, z_b)$, $I(C_b; F | z_r, z_b)$ 表示 HVS 从拼接图像特定子带中提取的信息. 假设各小波子带是互相独立的, 于是将互信息扩展到 K 个子带求和^[7], 得出基于 VIF 的拼接图像的客观质量评价指标 MVIF:

$$m_{\text{MVIF}} = \frac{\sum_{k=1}^K [I(C_r^k; F^k | z_r^k, z_b^k) + I(C_b^k; F^k | z_r^k, z_b^k)]}{\sum_{k=1}^K [I(C_r^k; E_r^k | z_r^k) + I(C_b^k; E_b^k | z_b^k) - I(C_{bo}^k; F_o^k | z_r^k)]}, \quad (19)$$

式中 K 是子带数, $I(C^k; E^k | z^k)$ 和 $I(C^k; F^k | z^k)$ 是第 k 个子带相应的互信息测量值.

要实现 MVIF 算法, 必须首先对模型参数进行预估计. 分别对参考图像、待拼接图像、图像源重叠区域及拼接图像进行 3 级小波变换, 并将小波子带分成 3×3 不重叠的系数块, 从小波系数块中提取小波系数分别构成向量 c_{ri} , c_{oi} , c_{bi} 和 d_i .

1) 协方差矩阵 C_{ru} , C_{bu} , C_{ou} 的估计 C_{ru} , C_{bu} , C_{ou} 可利用小波系数块中的小波系数进行估计.

$$\hat{C}_{ru} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{ri} c_{ri}^T, \quad (20)$$

$$\hat{C}_{bu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{bi} c_{bi}^T, \quad (21)$$

$$\hat{C}_{ou} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{oi} c_{oi}^T, \quad (22)$$

2) z_{ri} , z_{bi} , z_{oi} 的估计

$$z_{ri} = \frac{1}{M} c_{ri}^T \hat{C}_{ru} c_{ri}, \quad (23)$$

$$z_{bi} = \frac{1}{M} c_{bi}^T \hat{C}_{bu} c_{bi}, \quad (24)$$

$$z_{oi} = \frac{1}{M} c_{oi}^T \hat{C}_{ou} c_{oi}, \quad (25)$$

3) g_{ri} , g_{bi} , g_{oi} , $\sigma_{v,i}$, $\sigma_{o,i}$ 的估计

由于图 1 和图 2 中的图像信号失真通道的输入和输出均已知, 可以简单地采用线性回归分析法对这些参数进行估计^[8].

$$g_{ri} = \frac{\text{cov}(\mathbf{D}, \mathbf{C}_r) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_b, \mathbf{C}_r) - \text{cov}(\mathbf{D}, \mathbf{C}_b) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_b, \mathbf{C}_b)}{\text{cov}(\mathbf{C}_r, \mathbf{C}_r) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_b, \mathbf{C}_r) - \text{cov}(\mathbf{C}_b, \mathbf{C}_r) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_b, \mathbf{C}_b)}, \quad (26)$$

$$g_{bi} = \frac{\text{cov}(\mathbf{D}, \mathbf{C}_r) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_r, \mathbf{C}_r) - \text{cov}(\mathbf{D}, \mathbf{C}_b) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_r, \mathbf{C}_b)}{\text{cov}(\mathbf{C}_b, \mathbf{C}_r) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_r, \mathbf{C}_r) - \text{cov}(\mathbf{C}_b, \mathbf{C}_b) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_r, \mathbf{C}_b)}, \quad (27)$$

$$g_{oi} = \text{cov}(\mathbf{C}_{ro}, \mathbf{C}_{bo}) \text{cov}^{-1}(\mathbf{C}_{ro}, \mathbf{C}_{ro}), \quad (28)$$

$$\sigma_{v,i} = \text{cov}(\mathbf{D}, \mathbf{D}) - g_{ri} \text{cov}(\mathbf{D}, \mathbf{C}_r) - g_{bi} \text{cov}(\mathbf{D}, \mathbf{C}_b), \quad (29)$$

4 实验结果与分析

实际应用中, 待拼接图像与参考图像之间存在亮度差异或者配准误差时, 会使拼接图像产生“不真实”的视觉效果, 主观视觉质量下降. 通过仿真实验验证 MVIF 客观评价方法在上述两种情况下的性能.

4.1 存在亮度差异时 MVIF 测试结果及对比

将不存在亮度差异的参考图像[图 3(a)所示]和待拼接图像[图 3(b)所示]拼接为如图 3(c)所示的拼接图像. 该组图像的客观评价结果为 $m_{\text{MVIF}} = 1$, $S_{\text{SIM}} = 1$, $R_{\text{MSE}} = 0.65$, $P_{\text{SNR}} = 51.9$.



图3 测试图像。(a)参考图像,(b)待拼接图像,(c)拼接图像

Fig. 3 Images for testing. (a) reference image, (b) to-be-mosaicked image, (c) mosaicked image

1) 待拼接图像与参考图像之间的亮度差异会引起拼接图像的质量的下降。实验对此进行仿真,将参考图像亮度保持不变,在 $-70\% \sim +70\%$ 亮度范围内,以 5% 步长调整待拼接图像亮度,然后进行拼接,测试每组图像的客观评价价值。图4,图5为测试结果曲线。

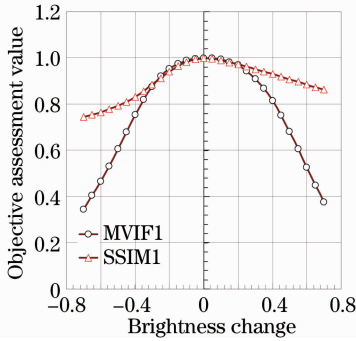


图4 MVIF及SSIM测试结果1

Fig. 4 Test results 1 of MVIF and SSIM

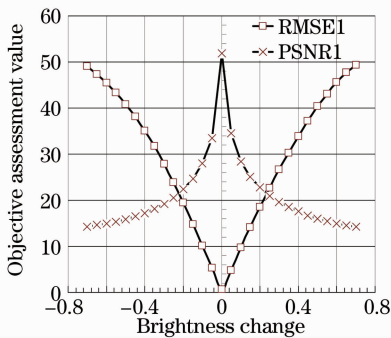


图5 RMSE及PSNR测试结果1

Fig. 5 Test results 1 of RMSE and PSNR

2) 输入图像间存在亮度差异时,图像拼接算法可以对输入图像的亮度进行调整,以改善拼接图像的质量。实验对此进行仿真,将参考图像和拼接图像的亮度均保持不变,在 $-70\% \sim +70\%$ 亮度范围内,以 5% 步长调整待拼接图像亮度。图6为测试结果曲线。

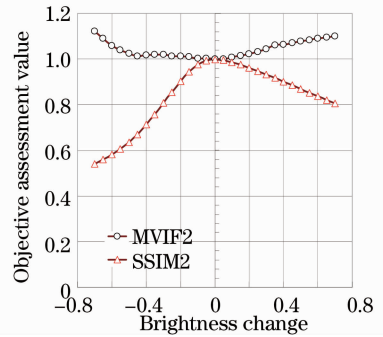


图6 MVIF及SSIM测试结果2

Fig. 6 Test results 2 of MVIF and SSIM

3) 参考图像和待拼接图像的亮度均保持不变时,在 $-70\% \sim +70\%$ 亮度范围内,以 5% 步长调整拼接图像亮度,测试MVIF3及SSIM3客观评价价值,并与1)中的MVIF1及SSIM1进行比较,图7为测试结果比较曲线。

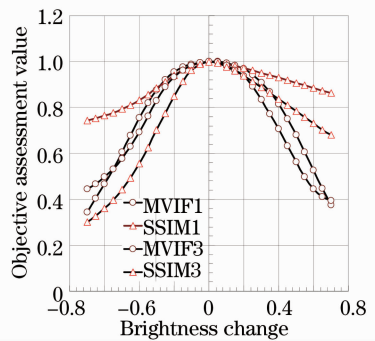


图7 MVIF及SSIM测试结果比较

Fig. 7 Comparison of test results of MVIF and SSIM

4.2 存在配准误差时MVIF的测试结果及对比

4.2.1 存在平移配准误差时的测试结果

待拼接图像与参考图像之间存在平移配准误差时,会引起拼接图像的质量下降。实验对此进行仿真,图8为水平方向平移配准误差为 $1 \sim 10$ pixel时测试结果曲线。

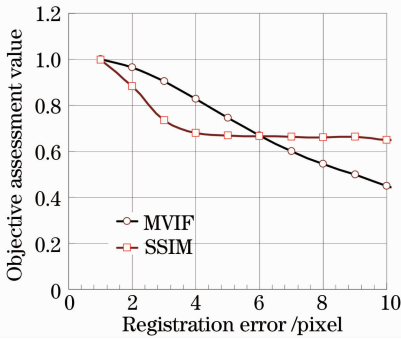


图 8 平移配准误差对 MVIF 及 SSIM 的影响

Fig. 8 Influence of displacement registration error on MVIF and SSIM

4.2.2 存在旋转配准误差时的测试结果

待拼接图像与参考图像之间存在旋转配准误差时,同样会引起拼接图像的质量下降。实验对此进行仿真,图 9 为顺时针旋转配准误差为 $0.5^\circ \sim 5^\circ$ 的测试结果曲线。

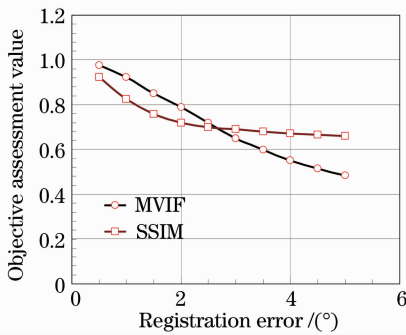


图 9 旋转配准误差对 MVIF 及 SSIM 的影响

Fig. 9 Influence of rotation registration error on MVIF and SSIM

4.3 与主观评价结果的对比

选择 84 组拼接图像,由 20 名观察者分别给每幅拼接图像评分,评分时采用相同的设备和视角条件,评分标准如表 1 所示。将原始分数取平均并转换成分值在 $0 \sim 100$ 的主观评价平均分数。将每幅拼接图像客观评价结果同样转换成 $0 \sim 100$ 的客观

表 1 主观评价评分标准

Table 1 Subjective assessment marking criteria

Subjective assessment scores	Mosaics artifacts	Image quality
90~100	Invisible	Very good
70~90	Vaguely visible	Better
40~70	Visible	General
10~40	Obviously visible	Relatively poor
0~10	Very distinct	Very poor
0	Extremely distinct	Fully saturated

评价值。图 10 为主观评价平均分数与 4 种客观评价方法的客观评价对比图。

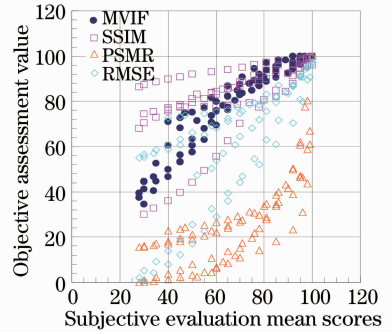


图 10 主观评价平均分数与 4 种客观评价值的比较

Fig. 10 Comparison between subjective evaluation average scores and four results of objective assessment

4.4 测试结果分析

分析图 4~图 10 可知:

1) 图 4,图 5 中数据表明,MVIF 和 RMSE 对不同质量的拼接图像区分度优于 SSIM 和 PSNR;

2) 图 6 中数据表明,当拼接图像质量没有变化时,MVIF 值变化很小;但是,受待拼接图像的亮度的影响,其它方法的评价值变化很大。当拼接图像质量与图像源相比有所增强时, $m_{MVIF} > 1$;当拼接图像质量与图像源有所退化时, $m_{MVIF} < 1$ 。

3) 图 7 中数据表明,MVIF 对拼接图像的质量评价结果主要取决于拼接图像本身的质量,而其他方法受图像源的影响较大。例如,将图 3(a)作为参考图像,图 11(a)作为待拼接图像,分别测量图 11(b),(c)的客观评价结果[(b)客观评价结果: $m_{MVIF} = 0.53, S_{SSIM} = 0.78, R_{MSE} = 43.3, P_{SNR} = 15.4$; (c)客观评价结果: $m_{MVIF} = 1.04, S_{SSIM} = 0.61, R_{MSE} = 57.2, P_{SNR} = 13.0$]。图 11(c)的主观视觉质量明显优于(b),MVIF 评价结果为 1.04,但是采用其他评价方法时,图 11(b)评价结果却优于(c)。如图 11 所示。

4) 图 8,图 9 中 MVIF 与配准误差呈线性变化,评价值能较好地体现配准误差引起图像质量的下降,而 SSIM 值当平移配准误差大于 3 pixel 及旋转配准误差大于 2° 后对配准误差不敏感。

5) 图 10 中数据表明,与传统方法相比,采用 MVIF 方法的评价结果与主观评价结果的一致性最好。

总之,与传统客观评价方法相比,MVIF 与主观视觉质量一致性好,能真实反映拼接图像的视觉质量。MVIF 评价方法的一个突出的优点是能够体现拼接图像相对于图像源的质量的增强或者退化程度,在实际应用中具有重要的意义。MVIF 评价方



图 11 不同方法测试结果比较。(a)待拼接图像,(b)拼接图像 1,(c) 拼接图像 2

Fig.11 Comparison of test results with different methods. (a)to-be-mosaicked image, (b) mosaicked image 1, (c) mosaicked image 2

法是基于图像自然场景模型和图像信号模型,并考虑人眼视觉失真的影响,更能真实反映拼接图像的质量,而其他客观评价方法注重于评价图像源与拼接图像像素灰度差异,其评价结果有时与主观视觉质量相悖。

5 结 论

本文提出了一种基于视觉信息保真度的图像拼接质量客观评价方法,该方法能够对灰度图像的拼接质量进行客观评价。实验表明,该方法的评价结果与主观评价结果的基本一致,性能优于 SSIM, RMSE 及 PSNR 等传统评价方法。通过综合考虑彩色拼接图像的各个分量的质量评价结果,可以实现对彩色拼接图像质量的客观评价。基于视觉信息保真度的图像拼接质量客观评价方法对自动图像拼接^[9]、实时图像拼接具有重要的实用价值。

参 考 文 献

1 L. Gibson. Automation technology with IKONOS satellite imagery[C]. *SPIE*, 2001, **4540**: 650~660

2 K. Loewke, D. Camarillo, W. Piyawattanametha *et al.*. Real-time image mosaicing with a hand-held dual-axes confocal microscope[C]. *SPIE*, 2008, **6851**: 68510F1~9

3 N. Heinze, M. Esswein, W. Krüger *et al.*. Automatic image exploitation system for small UAVs[J]. *SPIE*, 2008, **6946**: 69460G1~10

4 Assaf Zomet, Anat Levin, Shmuel Peleg *et al.*. Seamless image stitching by minimizing false edges [C]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2006, **15**(4): 969~976

5 Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh *et al.*. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [C]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2004, **13**(4): 600~612

6 J. Portilla, V. Strela, M. J. Wainwright *et al.*. Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain [C]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2003, **12**(11): 1338~1351

7 H. R. Sheikh, A. C. Bovik, G. de Veciana. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics [C]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2005, **14**(12): 2117~2128

8 H. R. Sheikh, A. C. Bovik. Image information and visual quality [C]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2006, **15**(2): 430~444

9 Wang Huifeng, Liu Shangqian, Wang Dabao *et al.*. Panoramic image mosaic method for rotary scanning serial image [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(5): 1211~1215

王会峰, 刘上乾, 汪大宝等. 旋转扫描序列图像的全景图拼接方法 [J]. *光学学报*, 2009, **29**(5): 1211~1215