

利用 Contourlet-SSIM 视觉模型的 IKONOS 图像质量评价研究

闫利¹ 胡晓斌^{1*}

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

摘要:针对遥感图像质量评价问题,提出了基于 Contourlet 变换的结构相似性(SSIM)评价的视觉模型。首先,通过 25 位遥感专业人员对经过处理的 200 幅高斯模糊图像、200 幅椒盐噪声图像、500 幅压缩失真图像进行评价,建立主观评分库;然后对经过 Contourlet 变换后的 IKONOS 图像进行 C-SSIM 质量评价;最后将 C-SSIM 评价结果回归到主观评价空间,与均方误差、峰值信噪比、SSIM 评价结果相比,本文方法与主观评价数据库较为一致,并优于其他质量评价模型。

关键词:Contourlet 变换;结构相似性(SSIM)模型;IKONOS;图像质量评价

中图法分类号:P237.9

文献标志码:A

图像质量评价问题是伴随着图像的出现而产生的,至今尚未有统一、可靠的理论标准。目前,图像质量评价可分为基于统计特性的客观质量评价方法、基于观测的主观评价方法和基于人类视觉系统(human vision system, HVS)的评价方法。其中,MSE、PSNR 等方法是使用较多的客观质量评价方法,这类方法主要通过计算像素点之间误差的纯数学统计来衡量图像的质量,由于其简明的数学意义和简单的计算方法而受到了人们的青睐。但是由于这类方法舍弃了图像内容和位置信息,而仅仅计算像素间的相关性,所以并不能很好地符合人眼对于图像质量的感知特性。基于观测的主观评价方法和人的视觉感知相一致,但费时费力,很容易受到观测者经验知识和心理因素的影响,缺乏相对统一的标准,更为重要的是,它不能够嵌入到相应的算法系统中^[1]。由于图像质量评价的主体是人,因此,对于图像质量的评价还是要依附 HVS 理论的发展进行评价^[2-3],这也是图像质量评价未来的趋势。

传统的 HVS 评价方法是使用自下向上模拟人眼的视觉特性,而文献[4-5]提出的结构相似性评价(structural similarity index measurement, SSIM)方法是一种自顶向下的过程,从高层次上

模拟 HVS 的整体功能,从视野中提取结构信息,打破了传统 HVS 的思维定势,并被 JVT(joint video team)引入到视频编码标准 H. 264 检校模型中,作为图像质量评价标准。遥感图像质量评价作为图像质量评价的子集,SSIM 方法同样适用。对于对比度较强的区域,通常需要进行变换域分析,而 Contourlet 变换可进行多尺度、多通道和多方向分解,更接近人眼的视觉特性。基于此,本文提出了基于 Contourlet 变换的结构相似性(C-SSIM)视觉模型的图像质量评价方法,同 MSE、PSNR、SSIM 方法相比,本文方法的评价结果更好。

1 IKONOS 图像主观评价库的建立

这里使用一景 Reference 级别 IKONOS 影像,空间分辨率为 1 m。利用 ENVISAT4.7 裁剪 50 个特征场景,大小为 256 像素×256 像素,格式为 JPEG2000。在 Intel(R)Core(TM)i3、CPU 为 2.93 GHz、内存为 4.00 G、32 位 Windows7 操作系统中,利用 Matlab7 仿真软件生成 3 类失真图像,如图 1(b)~1(d)所示。对 50 个参考图像加入 4 个不同大小的高斯噪声和椒盐噪声,分别生成 $50 \times 4 = 200$ 幅图像。高斯噪声参数均值为 0,

收稿日期:2013-09-01

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41271456)。

第一作者:闫利,教授,博士生导师。现从事摄影测量、遥感图像处理和三维激光成像扫描测量技术的研究。E-mail: lyang@sgg.whu.edu.cn

* 通讯作者:胡晓斌,博士。E-mail: hxbwdd@163.com

方差分别为 0.000 5、0.002、0.02、0.1;椒盐噪声的叠加密度分别为 0.000 5、0.002、0.02、0.1。根据图 1(a)中的压缩方法,按照 20、40、...、200 共

10 种不同的压缩质量因子(Q)进行失真压缩,生成 $50 \times 10 = 500$ 幅图像^[6-8],压缩失真图像如图 1(d)所示。

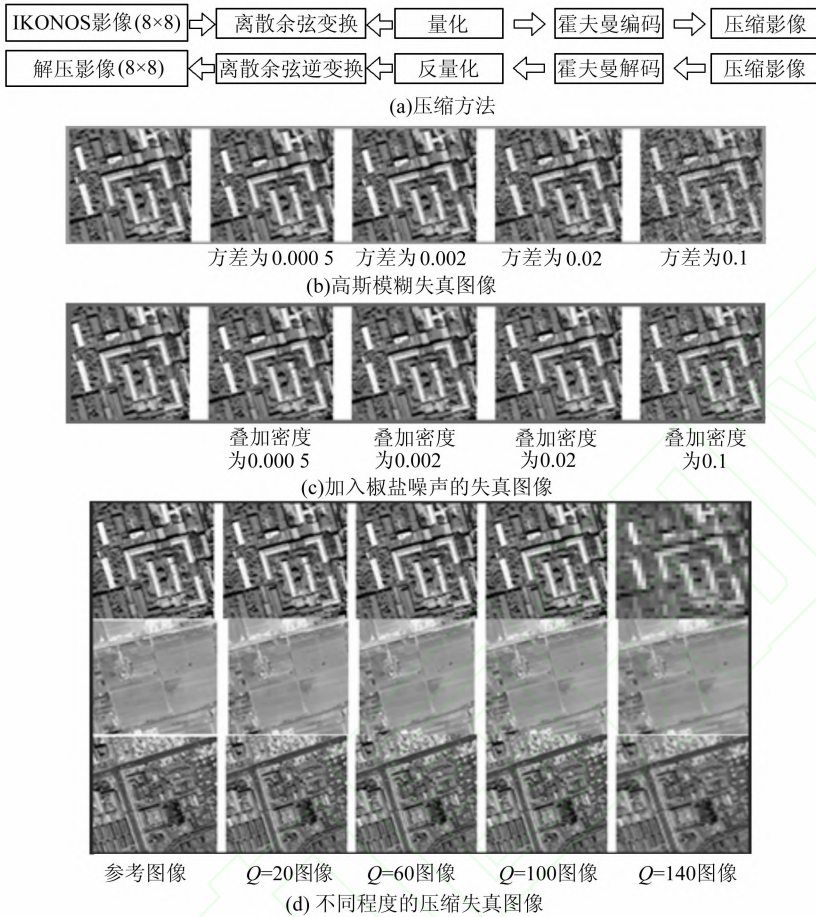


图 1 实验图像

Fig. 1 Experimental Images

根据表 1 主观质量评价标准,组织 25 位遥感专业人员对 200 幅高斯模糊图像、200 幅椒盐噪声图像、500 幅压缩图像进行评价。采用 DMOS (difference mean option score)评分法,即 MOS 和满分 100 的差值(DMOS=100-MOS)。DMOS 的取值为 0~100,其值越大,表示图像质量越差;其值越小,表示图像质量越好。通过对原始观测值的均值和方差进行归一化,整个数据集调整到 0~100。计算每幅图像的 DMOS 值,结合每幅图像的标准差和主观观测值,从而建立主观评价数据库^[9-10]。

表 1 主观评价标准

Tab. 1 Criteria of Subjective Assessment

等级	妨碍准则	质量准则
1	非常严重妨碍观看	非常差
2	对观看有妨碍	差
3	清楚看出图像质量变差,对观看有妨碍	一般
4	能看出图像质量变化,但不妨碍观看	好
5	丝毫看不出图像质量变差	非常好

2 C-SSIM 评价模型

2.1 评价步骤

1) 对图像进行 Contourlet 变换分解,得到该图像的 Contourlet 变换系数。

2) 直接把第 i 个拉普拉斯分解频带的各方向 Contourlet 系数代入式(1),计算得到该频带的结构相似度 $SSIM(x_i, y_i)$ 。

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (1)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}$$

式中, $l(x, y)$ 为光照度比较公式; $c(x, y)$ 为对比度比较公式; $s(x, y)$ 为结合两信号的协方差,用标准差规范信号得到的结构信息; α, β, γ 均大于零,

以调整三个部分所占的比重; C_1 、 C_2 、 C_3 是为了避免分母为零而设的小常数,其中 $C_1 = (K_1 L)^2$, $C_2 = (K_2 L)^2$, $C_3 = C_2/2$, $K_1 \ll 1$, $K_2 \ll 1$, L 是像素的动态范围(若是 8 位灰度图像,则 $L=255$)。

3) 对所有频带的 $SSIM(x_i, y_i)$, 求加权和得到整幅图像的 Contourlet 变换域结构相似度 $CSSIM(X, Y)$,

$$CSSIM(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^M \omega_i CSSIM(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^M \omega_i} \quad (2)$$

表 2 图像评价方法结果

Tab. 2 Results of Five Image Quality Assessment Methods

方法	压缩因子 Q									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
DMOS	86.567 4	80.532 2	77.391 1	68.455 6	65.299 7	58.981 9	50.997 6	48.786 9	33.971 4	25.327 6
MSE	0.592 4	1.032 6	1.563 3	1.809 4	2.330 6	2.505 9	2.704 4	2.908 1	3.324 9	3.733 9
PSNR	66.784 7	65.006 2	63.388 4	61.571 3	60.388 6	59.099 3	58.339 2	57.669 1	56.082 7	54.436 7
SSIM	0.907 3	0.882 9	0.857 7	0.829 2	0.808 6	0.799 4	0.780 1	0.764 7	0.722 9	0.700 9
C-SSIM	0.930 9	0.928 1	0.907 8	0.872 6	0.867 2	0.845 8	0.835 6	0.820 6	0.792 7	0.754 8

从表 2 可以看出:① 随着压缩因子的增大, IKONOS 图像质量呈整体下降的趋势。因为随着压缩因子的增大,图像失真越严重,从 5 种评价方法中可看出图像的保真度和可解译度都下降了。② 与 MSE、PSNR 客观评价方法类似, SSIM、本文方法都可以有效评价 IKONOS 图像质量的变化。同时对比 SSIM 方法,本文方法区间跨度更小,对图像质量评价的精度更高。③ 上述 5 种方法都可以评价图像质量,但是相互之间无法进行比较和分析。

2.2 C-SSIM 算法主观性能评价

为了定量地分析 MSE、PSNR、SSIM、C-SSIM 图像质量评价模型的性能,根据 VQEG (video quality experts group) Phase I test 报告,采用文献[14]中介绍的 Logistic 函数将各评价算法结果非线性回归到 DMOS 空间,然后采用下面五个标准来衡量各图像评价算法的性能:① 采用非线性映射后的主、客观图像质量之间相关系数的范围(0~1,越接近 1 越好)来测定客观评价算法结果相对主观评价结果的准确度;② 溢出率(outlier ratio, OR),值越小越好,用来测定客观评价算法结果与主观评价结果的一致性;③ 平均绝对值误差(mean absolute error, MAE),值越小越好;④ 均方根误差(RMS),值越小越好;⑤ 秩相关系数(spearman rank-order correlation coefficient, SROCC),值越大越好,用来测定客观评价算法结果相对主观评价结果的单调性。这里,非线性回归函数中的 Logistic 函数如式(3)所示。Logistic 函数中的参数拟合采用 Matlab7 中的

式, x_i 、 y_i 分别代表原图像和失真图像的第 i 个 Contourlet 分解频带的系数; M 为图像的拉普拉斯分解频带数; ω_i 为各个频带的权值。这里把拉普拉斯分解各频带和主观评分的相关性(correlation coefficient, CC)作为图像结构相似度计算时的权值,因此 $\omega_i = CC_i$ 。

这里选择一个场景图像和 10 幅压缩失真图像计算参考图像的失真评价结果,如表 2 所示^[11-13]。

nlinit 函数。图 2 为经过非线性回归后的图像质量评价模型与 DMOS 的关系。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Quality}(x) = \beta_1 \text{logistic}(\beta_2, (x - \beta_3)) + \\ \beta_4 x + \beta_5 \\ \text{logistic}(\tau, x) = \frac{1}{2} - \frac{1}{1 + \exp(\tau x)} \end{array} \right. \quad (3)$$

式中, x 表示衡量各图像评价算法的标准; $\beta_1 = \max(x)$; $\beta_2 = \min(x)$; $\beta_3 = \bar{x}$; $\beta_4 = 1$; $\beta_5 = 0$ ^[15]。

表 3 中同时给出了各图像质量评价模型与 DMOS 的 CC、OR、MAE、RMS、SROCC 值。可以看出,本文算法性能要远远好于完全没有考虑人眼视觉特性的 MSE、PSNR 方法,相比 SSIM 方法,性能也有较大提高。

表 3 各评价方法的性能比较

Tab. 3 Comparison of the Performance with Different Methods

方法	性能指标				
	CC	OR	MAE	RMS	SROCC
MSE	0.799 2	0.267 1	8.241 6	10.399 2	0.788 9
PSNR	0.842 7	0.121 8	7.370 8	9.186 2	0.834 7
SSIM	0.912 6	0.059 1	4.637 7	6.679 2	0.901 6
C-SSIM	0.930 6	0.032 3	4.323 7	6.412 9	0.924 7

3 结 语

针对遥感图像质量评价问题,本文提出了基于 Contourlet 变换的 SSIM 视觉模型,建立了基于专业人员的主观评价数据库,通过对 IKONOS 图像质量评价以及 C-SSIM 视觉模型的性能评价,表明 C-SSIM 模型可较为可靠地评价 IKO-

NOS 图像质量。为了验证 C-SSIM 模型的普适性,下一步需要研究不同卫星数据以及遥感图像

处理过程(辐射、几何校正)对模型的影响。

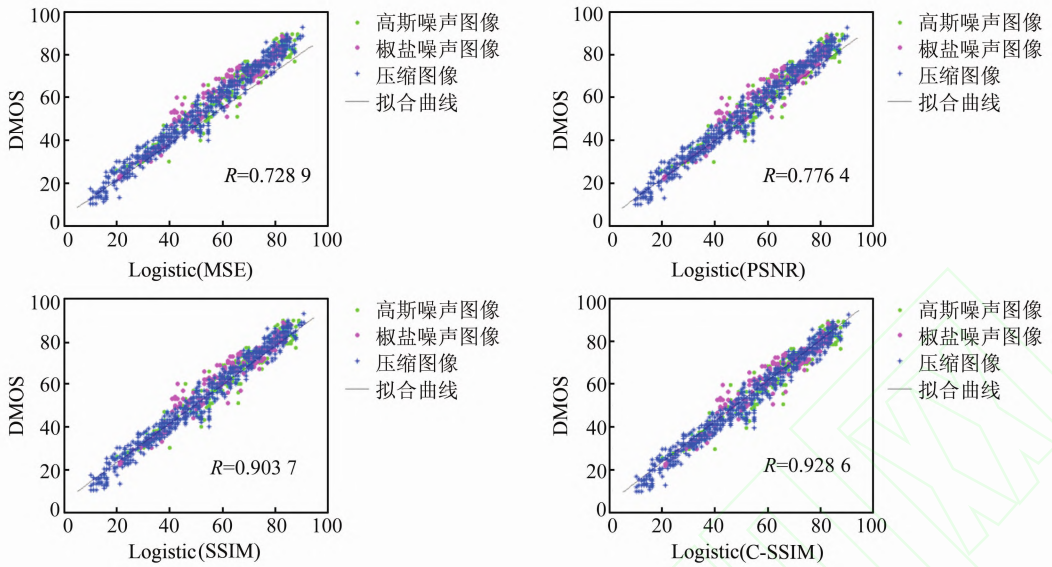


图 2 非线性回归后的五种图像质量评价的散点图

Fig. 2 Scatter Plots of Five Image Quality Assessment Methods After Nonlinear Regression

参 考 文 献

- [1] Jiang Gangyi, Huang Dajiang, Wang Xu. Overview on Image Quality Assessment Methods[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010, 32(1): 219-226 (蒋刚毅, 黄大江, 王旭. 图像质量评价方法研究进展[J]. *电子与信息学报*, 2010, 32(1): 219-226)
- [2] Watson A B, Hu J, McGowan J F. DVQ: A Digital Video Quality Metric Based on Human Vision[J]. *Electron Imaging*, 2001, 10(3): 20-29
- [3] Sheikh H R, Bovik A C. Image Information and Visual Quality[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(2): 430-444
- [4] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image Quality Assessment: From Error Measurement to Structural Similarity[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4): 600-612
- [5] Sheikh H R, Sabirm F, Bovik A C. A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(11): 3 440-3 451
- [6] Yuan Xiuxiao, Li Zhilin, Lin Weiqiang. Effects of JPEG Compression on the accuracy of Photogrametric Point Determination [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5(3): 198-204 (袁修孝, 李志林, 林伟强. JPEG 压缩对摄影测量点定位精度的影响[J]. *遥感学报*, 2001, 5(3): 198-204)
- [7] Zhai Liang, Tang Xinming, Li Lin, et al. A New Quality Assessment Index of Compressed RS Image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(10): 872-875 (翟亮, 唐新明, 李霖, 等. 一种新型的遥感影像压缩质量评价指标 [J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2007, 32(10): 872-875)
- [8] Liu Jun, Li Deren, Shao Zhenfeng. Fusion of Remote Sensing Images Based on Fast Discrete Curvelet Transform[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(3): 333-337 (刘军, 李德仁, 邵振峰. 利用快速离散 Curvelet 变换的遥感影像融合[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2011, 36(3): 333-337)
- [9] VQEG. Final Report from the Video Quality Experts Group on the Validation of Objective Models of Video Quality-assessment [EB/OL]. <http://www.vqeg.org/>, 2012
- [10] Sheikh H R, Wang Z, Bovik A C, et al. Image and Video Quality Assessment Research at LIVE[EB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/>, 2012
- [11] Fu Wei, Gu Xiaodong, Wang Yuanyuan. Color Image Quality Assessment Based on HVS[J]. *Microelectronics & Computer*, 2010, 27(2): 59-63 (付伟, 顾晓东, 汪源源. 基于人眼视觉特性的彩色图像质量评价[J]. *微电子学与计算机*, 2010, 27(2): 59-63)
- [12] Zhang Xiaolin, Liu Zhifang, Dai Jinbo, et al. Image Quality Assessment Based on Visual Perception and Gradient Structural Similarity[J]. *Application Research of Computers*, 2011, 28(6): 2 348-2 351 (张

晓琳,刘直芳,代金波,等. 基于视觉感知的梯度结构相似度图像质量评价[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(6):2 348-2 351)

- [13] Gao Xinbo, Lu Wen, Li Xuelong, et al. Image Quality Assessment Based on Multi-scale Geometric Analysis[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009, 18(7):1 409-1 423
- [14] Sheikh H R, Bovik A C, De Veciana G. An Informa-

tion Fidelity Criterion for Image Quality Assessment Using Natural Scene Statistics[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, 14 (12): 2 117-2 128

- [15] Rohaly A M, Corriveau P, Libert J, et al. Video Quality Experts Group: Current Results and Future Directions [J]. *SPIE Visual Comm and Image Processing*, 2000, 4 067:2-14

Image Quality Assessment of IKONOS Images Based on Contourlet-SIIM Model

YAN Li¹ HU Xiaobin^{1*}

1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: To assess the remote sensing image quality, a novel human vision system model is proposed based on the SSIM of Contourlet transform. Firstly, a subjective image quality assessment database is established with 200 Gaussian-noise images, 200 Salt& Pepper noise images, and 500 compression distortion images, processed in matlab7 and then evaluated by 25 remote sensing experts. Secondly, IKONOS images after Contourlet transform are assessed by C-SSIM model. Lastly, experiments show that the C-SSIM model performs better than others, in contrast to MSE, PSNR, SSIM image quality assessment results, is the contourlet-SIIM Model result are consistent with the subjective database.

Key words: Contourlet transform; SSIM model; IKONOS; image quality assessment

First author: YAN Li, PhD, professor, specializes in remote sensing image process and 3D laser imaging radar. E-mail: liyan@sgg.whu.edu.cn

Corresponding author: HU Xiaobin, PhD. E-mail: hxbwdd@163.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41271456.

(上接第 11 页)

band remote sensing image change detection method using a Markov Random Field, fusing all band change information. In the process of solving the MRF model parameters, the MoLC (method of Log-Cumulants) and EM (expectation-maximization) hybrid model is introduced for iterative calculation. Experimental results show that the detection accuracy of the proposed method is superior to the current change detection methods, and is stable.

Key words: remote sensing image; change detection; MRF model; energy function; information fusion; iterative calculation

First author: WEI Lifei, PhD, his research interest is remote sensing image processing. E-mail: weilifei2508@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 61201341; the National Science Foundation for Post-doctoral Scientists of China, No. 2012M511269; the Open Research Fund of Key Laboratory of Disaster Reduction and Emergency Response Engineering of the Ministry of Civil Affairs under Grant, No. LDRERE20120205; the Funded by Changjiang Water Resources Commission Changjiang River Scientific Research Institute Open Research Program, No. CKWV2012325/KY.