

文章编号: 1001-1595(2011)02-0175-05

基于角点检测的遥感图像几何质量评价方法

王明富^{1,2}, 杨世洪¹, 吴钦章¹

1. 中国科学院 光电技术研究所, 四川 成都 610209; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049

A Geometric Quality Assessment Algorithm of Remote Sensing Image Based on Corner Detection

WANG Mingfu^{1,2}, YANG Shihong¹, WU Qinzhang¹

1. Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract To study geometric quality influence of remote sensing image brought by image compressing system, a new image geometric quality assessment algorithm based on image corner is proposed. First, classic Harris corner detecting algorithm is introduced, then it is improved to solve its disadvantage of imprecise point location: fitting the surface of corner response function and evaluating peak location of the fitted surface to check the sub-pixel corner location. Finally, this algorithm is applied to geometric quality assessment system of remote sensing image, and is compared to traditional surface fitting extremum algorithm. The experimental results show that this algorithm can accurately express the aberration of geometric quality between original image and compressed one. So, it can be used into quality assessment system of aerial remote sensing image compression.

Key words: image compression; Harris corner detection; geometric aberration; corner missing rate

摘 要: 为分析图像压缩过程对遥感图像几何质量的影响, 提出一种新的基于图像角点检测的图像几何质量评价方法。首先介绍经典 Harris 角点检测算法, 然后针对 Harris 算法定位精度不高的缺点改进 Harris 算法: 对角点响应函数进行曲面拟合后求拟合曲面极值点, 以此作为图像亚像素级角点坐标, 最后将改进的 Harris 算法应用到遥感图像几何质量评价系统中并将其与传统曲面拟合极值法比较。试验结果表明: 该方法能精确反映遥感图像压缩前后的几何质量变化, 可在航空遥感图像压缩质量评价系统中应用。

关键词: 图像压缩; Harris 角点检测; 几何畸变数; 角点漏检率

中图分类号: TP751

文献标识码: A

1 引 言

随着航天科技的日益发展, 空间飞行器的有效载荷数量、分辨率、采样率等都在不断增加, 为在有限的信道传输带宽下尽量保持高分辨率遥感图像的信息, 图像压缩是必然的趋势^[1]。空间遥感图像纹理丰富, 像素间冗余度小, 信息熵大, 采用无损压缩效率较低, 一般都采用有损压缩。无损压缩会损失部分图像信息, 使重建图像相对于原图像具有一定的失真和畸变。一方面, 像素灰度会产生不均匀失真, 高频部分失真较大, 低频部分失真较小, 只有发生在人眼视觉感知范围之外的失真才不会给人们在视觉上带来影响; 另一方面, 重建图像中景物的形状和大小会产生畸变, 特征点几何位置也可能会发生偏移, 如果这种几何失真较严重, 将会导致重建图像不能正确反映原始图像中景物的形状

和大小, 严重影响计算机对图像的理解和判读。遥感重建图像除了应具有良好的构像质量以外, 还应具有良好的反映原始景物形状和大小的几何质量, 这对应用于测绘测量、空间定位等领域的遥感图像来说具有重大意义。因此, 对遥感图像的压缩需要有专门的图像质量评价系统来评价压缩前后图像的质量, 以度量不同压缩算法的效率。目前, 主要有三大类遥感图像几何质量评价方法: 基于匹配精度的评价方法, 自动生成 DSM/DEM 精度的评价方法和摄影测量点定位精度的评价方法^[3]。本文提出基于图像特征点精确定位的评价方法将压缩前后图像中角点的位移平均量和角点漏检率作为评价图像几何质量的一个指标。

2 Harris 角点检测算法

角点是二维图像亮度变化剧烈的点或图像边

缘曲线上曲率极大值的点。经典 Harris 角点检测算法是基于亮度变化的角点检测算法,具有较高的稳定性和鲁棒性,能够在图像旋转、灰度变化以及噪声干扰等情况下准确地检测到角点,具有较高的检测重复度和较低的误检率^[4]。

但是经典 Harris 算法定位性能差,该算法定位精度只能达到像素级,在需要精确定位的应用中不能满足要求^[5],需要改进 Harris 算法使其具

有亚像素级的定位精度。

2.1 Harris 角点检测算法原理

对于一幅图像 $I(x, y)$ 来说,角点是与图像自相关函数 $E(x, y)$ 的曲率特性相关的。以图像中的某一点 (x, y) 为中心,给定一个小窗口 w ,假设窗口在图像中不同方向的位移为 $\Delta x, \Delta y$,则自相关函数 $E(x, y)$ 可表示为

$$\begin{aligned}
 E(x, y) &= \sum_{i,j} w [I(x_i + \Delta x, y_j + \Delta y) - I(x_i, y_j)]^2 = \\
 &= \sum_{i,j} w [\Delta x \cdot I_x(x_i, y_j) + \Delta y \cdot I_y(x_i, y_j) + o(\Delta x^2, \Delta y^2)]^2 \approx \\
 &= \sum_{i,j} w \left(\begin{bmatrix} I_x(x_i, y_j) & I_y(x_i, y_j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \right)^2 = \\
 &= \begin{bmatrix} \Delta x & \Delta y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_{i,j} w (I_x(x_i, y_j))^2 & \sum_{i,j} w (I_x(x_i, y_j) \cdot I_y(x_i, y_j)) \\ \sum_{i,j} w (I_x(x_i, y_j) \cdot I_y(x_i, y_j)) & \sum_{i,j} w (I_y(x_i, y_j))^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} \Delta x & \Delta y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{I}_x^2 & \hat{I}_x \cdot \hat{I}_y \\ \hat{I}_x \cdot \hat{I}_y & \hat{I}_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x & \Delta y \end{bmatrix} M(x, y) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

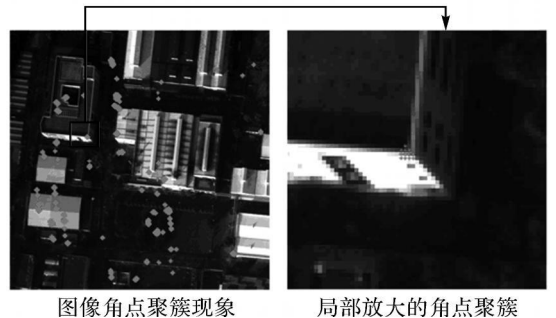
式中, I_x, I_y 为图像 $I(x, y)$ 的方向导数; $\hat{I}_x^2 = I_x^2 \odot w$; $\hat{I}_y^2 = I_y^2 \odot w$; $\hat{I}_x \cdot \hat{I}_y = (I_x I_y) \odot w$; $w = \exp(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2})$ 为高斯滤波器,用来滤除噪声干扰。

矩阵 M 是一个实对称矩阵,在某一点图像灰度自相关函数的极值曲率可以由矩阵 M 的特征值近似表示,如果矩阵 M 的两个特征值 λ_1, λ_2 都比较大,说明在该点的图像灰度自相关函数的两个正交方向上的极值曲率均较大,则该点为角点。角点响应函数如下

$$R(x, y) = \lambda_1 \lambda_2 - \alpha (\lambda_1 + \lambda_2)^2 \quad (2)$$

以上就是经典的 Harris 角点检测算法,但是这种算法检测到的角点在整幅图像中分布不均匀,而且会产生角点聚簇现象(图 1),即一个角点的邻近区域还存在其他的角点,这必然影响图像角点的应用。

为使图像中的角点均匀分布,对图像进行固定块数的分块,对图像每一块中检测到的角点按照 R 值大小进行排序,选择保留 R 值相对较大的角点,这样就可以使角点均匀地分布在整幅图像中。为消除角点聚簇,采用邻近点剔除策略,选用一个模板(如 3×3)对角点响应函数 $R(x, y)$ 进行滤波,若在该模板下存在不止一个角点,则只保留 R 值最大的角点,剔除其他所有角点。



图像角点聚簇现象 局部放大的角点聚簇

图 1 角点聚簇现象

Fig. 1 Phenomenon of corners stay together

2.2 亚像素级 Harris 角点检测改进算法

图像的角点实际上是角点响应函数的极大值点,因此可以在一个窗口内对角点响应函数进行曲面拟合,将拟合曲面的极大值点位置作为亚像素级角点的位置。对比图 2 中原角点响应函数曲面和拟合曲面可知:角点响应函数拟合曲面可以得到更为精确的角点位置。

设窗口大小为 3×3 ,用已经检测出来的像素级角点 (x, y) 及周围的 8 个像素点对该窗口内的角点响应函数进行拟合。若采用二次曲面拟合^[6],则该曲面方程为

$$R(x, y) = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f \quad (3)$$

该曲面的极值点应满足

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial x} &= 2ax + cy + d = 0 \\ \frac{\partial R}{\partial y} &= 2by + cx + e = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

求解上面的方程组便可得到角点的亚像素级坐标。

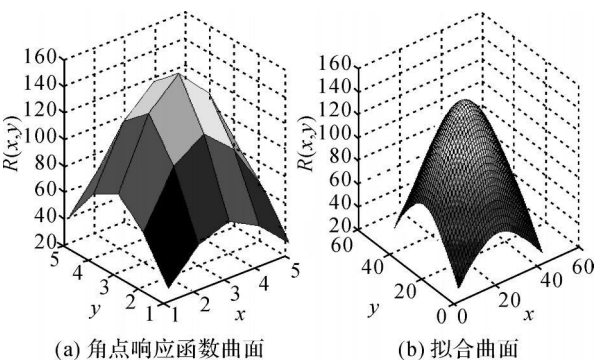


图 2 角点响应函数曲面拟合

Fig. 2 Corner point response function surface fitting

3 Harris 角点检测算法在遥感图像几何质量评价中的应用

对应用于测绘测量、空间定位等领域的遥感图像,关键是图像压缩后的几何失真是否会影响计算机对图像的理解和判读。通过检测图像压缩前后角点的相对位移和角点漏检情况,可以度量重建图像相对于原始图像几何畸变的程度。

设原始图像为 $I(x, y)$; 重建图像为 $\hat{I}(x, y)$ 。 $I(x, y)$ 中检测出的亚像素级角点为 $\{P_1, P_2, \dots, P_N\}$, P_i 对应的坐标为 (x_i, y_i) ; $\hat{I}(x, y)$ 中检测出的亚像素级角点为 $\{\hat{P}_1, \hat{P}_2, \dots, \hat{P}_{N1}\}$, \hat{P}_j 对应的坐标为 (\hat{x}_j, \hat{y}_j) 。若对于 $I(x, y)$ 任意的 P_i 和 $\hat{I}(x, y)$ 任意的 \hat{P}_j 满足

$$(x_i - \hat{x}_j)^2 + (y_i - \hat{y}_j)^2 < 2 \quad (5)$$

则称 P_i 和 \hat{P}_j 在以 (x_i, y_i) 为中心的 3×3 搜索窗内互为同名特征点对, 否则称 P_i 为漏检角点。同一个搜索窗内最多只有一对同名特征点对, 这是因为角点检测时的去聚簇操作使得每一个角点周围很邻近域内不会存在其他角点。定义压缩前后的几何畸变数 D 为

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_m^2} \quad (6)$$

式中, $\{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ 为压缩前后图像同名特征点对之间的距离。定义角点漏检率 CMR 为

$$CMR = (N - M) / N \quad (7)$$

式中, M 为特征点对数; N 为原始图像中的特征点数, 由上式可知 $CMR \leq 1$ 。

几何畸变数表征图像压缩前后角点的位移情况, D 越大表明图像中目标的几何位移越大, 几何失真越严重; 角点漏检率则表征图像几何形状的改变, CMR 越大则表明图像几何形状畸变越大。

为验证该算法的正确性和有效性, 选用两幅 512×512 、8 bit 遥感图像分别进行试验。压缩算法分别采用 CCSDS(空间数据系统咨询委员会)在 2005 年发布的 122.0-B0 标准、JPEG2000、SPIHT 三种图像压缩算法。计算每一幅图像采用不同压缩算法时在各种压缩比下的几何畸变数和角点漏检率, 并绘制成曲线(图 3), (a) 表示图像 1 和图像 2 的几何畸变数曲线; (b) 表示图像 1 和图像 2 的角点漏检率曲线。同时在图 5 中将图像 1 经过 JPEG2000 算法压缩后的重建图像采用红色星号标记出对应于原始图像中的角点, 而用绿色方框标记漏检的角点, 以方便直接观察角点漏检的情况。

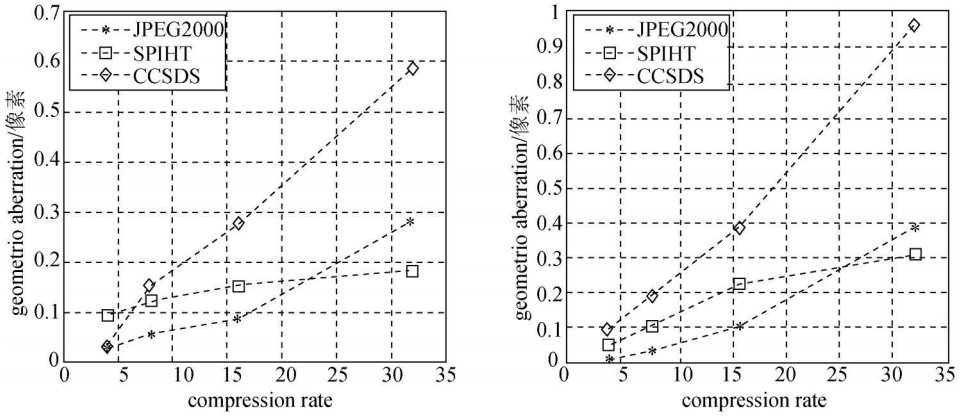
对比每一幅图像在不同压缩率下的结果可以得出:

(1) 同一种压缩算法, 随着压缩比的增加, 图像的几何畸变数线性增加, 但一般不超过 1 个像素, 同时角点漏检率逐渐增大, 这说明图像的几何质量随着压缩比的增加会逐渐下降。

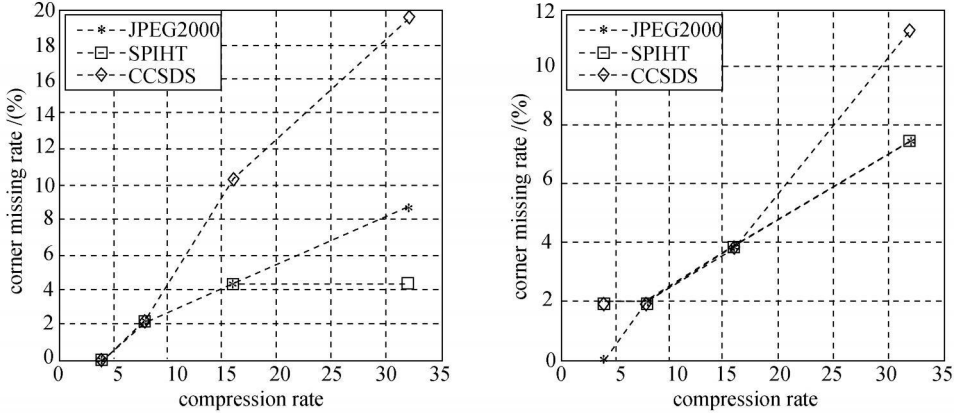
(2) JPEG2000 算法能使图像在各种压缩比下保持较好的几何质量, 同时保证曲线线性度, 而 SPIHT 和 CCSDS 则相对失真较大, 角点漏检率较高。这说明该图像质量评价方法能衡量图像压缩算法的优劣, 对选择压缩算法具有指导意义。

另外, 为验证该算法性能的优越性, 将其与传统的灰度曲面拟合极值法^[2,7]进行试验对比。试验采用与上一试验相同的两幅遥感图像和 JPEG2000 算法。图 4 为这两幅图像用 JPEG2000 算法在不同压缩比情况下的几何畸变数情况。

对比图 4 每幅图像中两种评价方法的结果可以得出: 角点检测算法所产生的曲线更光滑, 更能反映随着压缩比的增加, 图像几何质量逐步下降的规律, 并且能得到比经典曲面拟合极值法更为精确的测量值, 且具有较高的稳定性。因此, 采用基于角点检测的方法来评价遥感图像压缩前后的几何质量更精确、合理且稳定性较高。



(a) 两幅图像在三种不同压缩算法下的几何失真比较



(b) 两幅图像在三种不同压缩算法下的角点漏检率比较

图3 两幅图像几何畸变及角点漏检率对比

Fig.3 Comparison of two images geometric aberration and corner missing rate

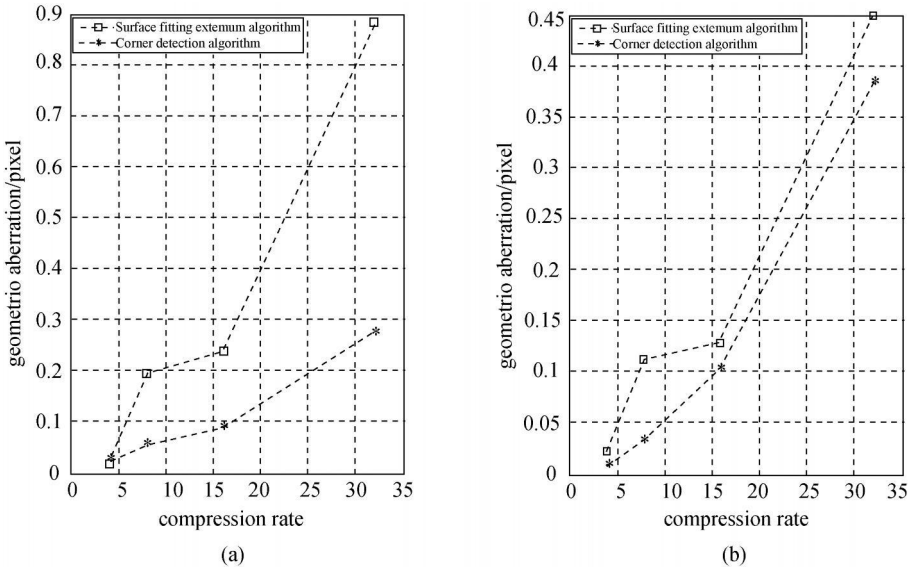


图4 曲面拟合极值法与角点检测法对比

Fig.4 Comparison of surface fitting extremum algorithm and corner detection algorithm

4 结论

本文为评价图像压缩系统对遥感图像几何质量的影响,提出一种基于Harris角点检测算法

的、可用于检验图像压缩系统性能的遥感图像几何质量评价方法。它通过检验压缩前后图像的几何畸变数D和角点漏检率CMR两个指标来衡量图像压缩系统的性能。在相同压缩比的情况下,压

缩前后图像的几何畸变数 D 越小、角点漏检率 CMR 越小,则图像压缩算法对图像几何质量的影响越小。试验结果表明:该算法能正确表征图像压缩系统的性能,能够应用到航空遥感图像压缩质量评价系统中,对选择图像压缩算法具有指导意义。

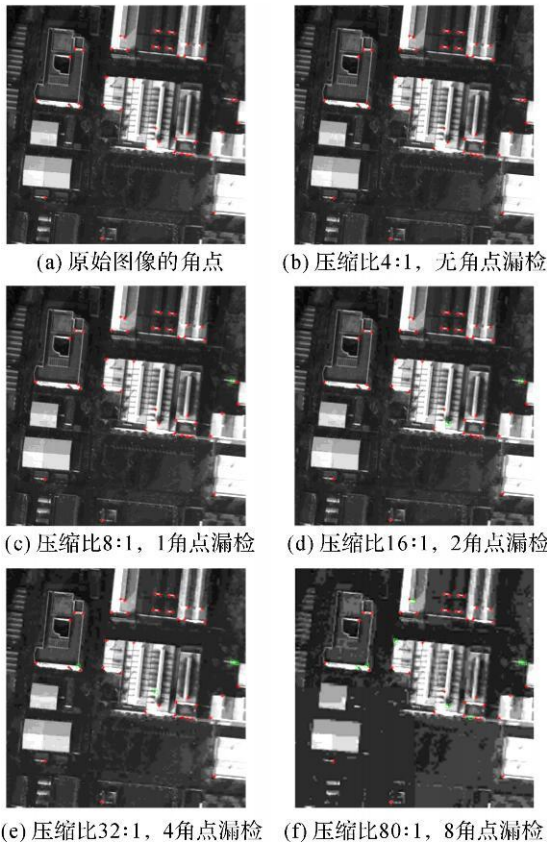


图5 采用JPEG2000压缩时图像在各种压缩比下的角点检测情况

Fig. 5 Corner detection of different compression rate when use JPEG2000

参考文献:

- [1] WANG Mingfu, YANG Shihong, WU Qinzhang. An Image Compression Algorithm for Remote Sensing Image Based on Wavelet [J]. Optoelectronic Engineering, 2009, 36(11): 85-91. (王明富, 杨世洪, 吴钦章. 一种基于小波变换的遥感图像压缩算法[J]. 光电工程, 2009, 36(11): 85-91.)
- [2] LI Feipeng. Remote Sensing Satellite Image Compression [D]. Wuhan: Wuhan University, 2003. (李飞鹏. 卫星遥感影像压缩[D]. 武汉: 武汉大学, 2003.)
- [3] ZHAI Liang, TANG Xinming, ZHANG Guo, et al. Remote Sensing Image Compression Quality Assessment and Its Application [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(3): 289-292. (翟亮, 唐新明, 张过, 等. 遥感影像压缩质量评价的研究与应用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(3): 289-292.)
- [4] WANG Yan. Stereo Matching Algorithm Research Based

- on Point Feature [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009. (王艳. 基于点特征的立体匹配算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.)
- [5] CHEN Guang, Sub pixel Corner Detection Algorithm [D]. Jilin: Jilin University, 2009. (陈光. 亚像素级角点提取算法[D]. 吉林: 吉林大学, 2009.)
- [6] LI Ertao, ZHANG Guoxuan, ZENG Hong. Algorithm of Surface Fitting Research Based on Least squares Methods [J]. Journal of Hangzhou Electronic University, 2009, 29(2): 48-51. (李二涛, 张国焯, 曾虹. 基于最小二乘的曲面拟合算法研究[J]. 杭州电子科技大学学报, 2009, 29(2): 48-51.)
- [7] ZHAI Liang, TANG Xinming, ZHANG Guo. Geometric Quality Assessment of Remote Sensing Image Compression for Mapping [J]. Geography and Geo-Information Science, 2008, 24(3): F5. (翟亮, 唐新明, 张过. 面向测图的遥感影像压缩几何质量评价[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(3): F5.)
- [8] WANG Yu, HU Xin, ZHANG Baoming. Research on Digital Image Quality Assessment Methods [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2002(5): 7-9. (王昱, 胡莘, 张保明. 数字影像质量评价方法研究[J]. 测绘通报, 2002(5): 7-9.)
- [9] MAEDER A J. The Image Importance Approach to Human Vision Based Image Quality Characterization [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(3): 347-354.
- [10] GASTALDOA P, ZUNINO R, HEYNDERICKX I. Objective Quality Assessment of Displayed Images by Using Neural Networks [J]. Signal Processing: Image Communication, 2005, 20(7): 643-661.
- [11] FERWERDA J A, PELLACINI F. Functional Difference Predictors (FDPs): Measuring Meaningful Image Differences [C] // The 37th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove: IEEE, 2003.
- [12] SHI T Y, LIU J K. Effects of JPEG2000 Compression on Automated DSM Extraction: Evidence from Aerial Photographs [J]. The Photogrammetric Record, 2005, 20(112): 351-365.
- [13] ZHANG Zuxun, ZHANG Jianqing. Digital Photogrammetry [M]. Wuhan: Press of Wuhan University, 1997: 114-115. (张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1997: 114-115.)

(责任编辑: 宋启凡)

收稿日期: 2009-11-26

修回日期: 2010-05-16

第一作者简介: 王明富(1982—), 男, 博士生, 主要从事大面阵数字航测相机图像压缩及显示技术的研究。

First author: WANG Mingfu (1982—), male, PhD candidate, majors in large array CCD image real time compression and display.

E-mail: array@163.com