

文章编号: 1007-4619 (2001) 03-0198-07

JPEG 压缩对摄影测量点定位精度的影响

袁修孝^{1,2}, 李志林², 林伟强²

(1. 武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079; 2. 香港理工大学 土地测量与地理资讯学系, 香港)

摘 要: 对某城区一对 1:8000 航摄立体数字影像利用 Intergraph 数字摄影测量工作站上的立体量测软件 IS-DM 进行手工量测, 然后通过用自行开发的 GPS 辅助光束法区域网平差软件 WuCAPS_{GPS} 的单模型光束法平差精确测定了 18 个加密点的位置。经过对数字影像采用 1 到 100 不同质量因子的 JPEG 压缩, 获得一组质量各异的压缩影像, 从分析重建影像点定位结果的变化入手, 探讨了 JPEG 压缩对摄影测量点定位精度的影响。试验表明: 失真 JPEG 压缩对摄影测量点定位精度的影响是显著的。随着压缩比的增大, 影像可视化质量逐渐衰减, 像点量测精度不断降低, 加密点精度几乎呈线性趋势下降, 且高程比平面衰减的速度要快得多。

关键词: JPEG 影像压缩; 内定向; 相对定向; 绝对定向; 光束法平差; 精度

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

影像数据的压缩是根据自然界连续灰度影像相邻像元可以相互表示这一特点, 经采用一定算法合理消除其相关性(信息冗余)来减少表达像元灰度所需的 bit 位数, 从而达到整体减少影像数据量的目的。该技术的研究由来已久, 目前已有多种成熟的方法在广泛使用之中, 譬如 LZ, JPEG、分形、小波等影像压缩技术^[1]。不过, 摄影测量领域里, 对于影像压缩的研究则着重于两个方面: 一方面是针对航空/航天遥感影像数据的特点提出了一些更为有效的专门压缩算法, 如多光谱遥感影像数据、彩色影像数据的无损^[2]、准无损^[3]和失真^[4-8]压缩技术; 另一方面是通过研究压缩影像质量的衰减程度探讨了现有压缩算法在摄影测量中的应用潜力, 主要是通过对不同压缩方法效果的比较^[9, 10]、在不同压缩倍率数字航空影像中手工提取线特征精度的变化^[10-12]、自动生成 DTM 精度的影响^[13-15]、卫星遥感影像分类精度的损失^[16-18]等间接实现的。本文试图借助数字摄影测量手段, 通过对利用不同压缩倍率的数字航空影像确定明显目标点定位精度的变化来研究压缩对影像质量的影响, 着重探讨对于广泛使用的失

真 JPEG 压缩方法, 在多大的压缩倍率下, 可以保证压缩后的影像仍能满足摄影测量点定位的精度要求。

2 影像压缩基础

2.1 JPEG 影像压缩

JPEG 是 Joint Photographic Experts Group 的缩写词。JPEG 压缩是由 JPEG 所开发的适用于静态连续灰度影像的一种影像压缩技术, 已作为国际标准广泛使用^[19]。它有顺序编码、渐进编码、无损编码和分层编码 4 种模式。其中顺序编码和渐进编码模式是基于离散余弦变换的失真影像压缩算法; 无损编码模式为采用预测编码技术的无损影像压缩算法; 分层编码模式则是基于离散余弦变换或无损编码技术的用多级空间分辨率表示影像的压缩算法。实际应用中, 多采用基于顺序编码模式的基线顺序编码压缩算法, 图 1 示意了其作业过程。

基本 JPEG 压缩算法首先将被压缩影像分成 8×8 的子影像块, 然后对每一影像块独立地进行离散余弦变换以得到一组变换系数, 使影像的灰度值为减小; 接着将该系数与一预先给定的正则矩阵的对应元素相除并取最接近的整数值得到一组正则

收稿日期: 2000-09-13; 修订日期: 2000-11-21

基金项目: 留学回国人员科技活动经费资助项目(9901)、香港研究资助局基金项目(PolyU 5091/97E) All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 袁修孝(1963—), 男, 教授, 1999 年于武汉测绘科技大学获摄影测量与遥感专业博士学位。现任教于武汉大学遥感信息工程学院, 研究方向为摄影测量高精度定位理论与方法、数字图像处理等。已出版专著一部, 发表学术论文 40 余篇。

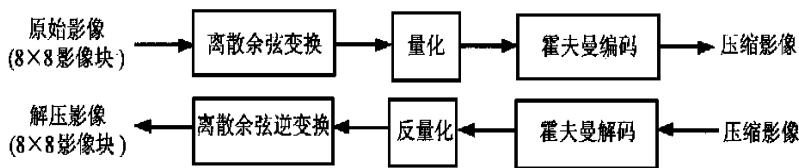


图1 JPEG 影像压缩算法

Fig. 1 JPEG baseline compression scheme

化系数(这个过程通常称为“量化”),由上使影像的灰度值进一步减小,并产生大量的0元素;最后通过对正则化系数进行霍夫曼编码得到压缩影像。

上述量化处理会丢失影像信息,并且压缩影像会随正则矩阵的变化而不同。当对正则矩阵进行整体放大或缩小时,压缩影像的数据量就会相应地变小或增大,从而改变影像的压缩倍率和质量。对正则矩阵进行变换的缩放系数称为影像压缩质量因子(Q)。显然,当 Q 增大时,影像的压缩倍率增大,影像的质量下降;反之,当 Q 减小时,影像的压缩倍率随之减小,影像信息量的损失亦变小。因此,通过合理改变 Q 值,就可以控制压缩影像的质量。这正是JPEG压缩的一个特点,可根据应用的需要,由用户来控制压缩影像的质量。在Intergraph数字摄影测量工作站中,采用JPEG压缩时, Q 可取值1—250的任何一个整数,推荐值为30。

2.2 影像的压缩比

影像的压缩比($Ratio$)一般定义为:

$$Ratio = \frac{\text{原始影像的大小}}{\text{压缩影像的大小}} \quad (1)$$

就无损压缩而言,对于一幅 n bit 的灰度影像,所能获得的最大影像压缩比为:

$$Ratio_{\max} = \frac{\log_2 M}{H} = \frac{n}{H} \quad (2)$$

式中, $M=2^n$ 为影像的灰度级数; H 为影像的熵,是影像平均信息量的测度。

由(2)式可知,通常用8 bit 表示的黑白航空影像,无损压缩时,其最大压缩比^[3]可为 $8/H$,一般不会超过2。为获得最大的影像压缩比,首先必须消除像元间的灰度冗余,然后对其进行最有效的编码,使表达每一像元灰度所需的bit位数等于或接近于影像的熵,这样既可保证获得最大的压缩倍率又不至于损失影像信息。霍夫曼编码就是具有这种性质的无损熵编码技术,被广泛采用。

2.3 评价压缩影像质量的测度

失真压缩影像的质量是很难定量描述的。不

过,在数字图像通信中,对解压影像质量的评定一般采用两个指标:一个是表征解压影像相对于原始影像几何失真程度的逼真度(Fidelity),另一个是表示解压影像相对于原始影像灰度偏离程度的峰值信噪比(PSNR)。对于一幅包含有 $m \times n$ 个像素的8 bit (即256级)连续灰度影像,有,

$$Fidelity = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{ij} \times g'_{ij}) \setminus \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij}^2 \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \cdot \lg \left[\frac{255}{\delta} \right]^2 = 48 - 20 \cdot \lg \delta \quad (4)$$

式中, g_{ij} 和 g'_{ij} 分别为原始影像和解压后重建影像的

像素灰度; $\delta = \sqrt{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{ij} - g'_{ij})^2}$ 。

由(3),(4)两式可看到,无损影像压缩的逼真度为1.0,峰值信噪比为无穷大(因为 $\delta=0$)。若 $\delta=1$,则峰值信噪比为48.0;若 $\delta=2$,则峰值信噪比约为42.0。文献[3]指出,当重建影像的逼真度大于0.99,峰值信噪比大于42.0时,影像的压缩可视为准无损的。即原始影像与解压后重建影像的同名像元,在辐射畸变方面,灰度标准差应小于影像的量化噪声;在几何位置方面,点位精度应在传感器成像系统的畸变差之内。

3 试验设计

利用航空影像测定目标点位,一般需经影像量测,野外控制点测量以及摄影测量平差等作业步骤,每一步的误差将对点定位精度产生影响。本文试验以数字影像为基础,按图2流程逐步进行。

试验选用某城区一对1:8000摄影比例尺的黑白航空立全像片,经在Helava扫描仪上采用分解率为 $25\mu\text{m}$ 的256级灰度扫描后,得到了大约160MB的无格式影像数据。利用Intergraph数字摄影测量工作站上的立体量测软件ISDM对该数字影像进行了立体量测。首先,经手工测定影像四角光学框标半自动内定向,然后,在立体观察方式下人工判识量测了均匀分布于模型内的18个明显地特点(图3)。其中6个为运动场上的线划标志交叉点,4个为直

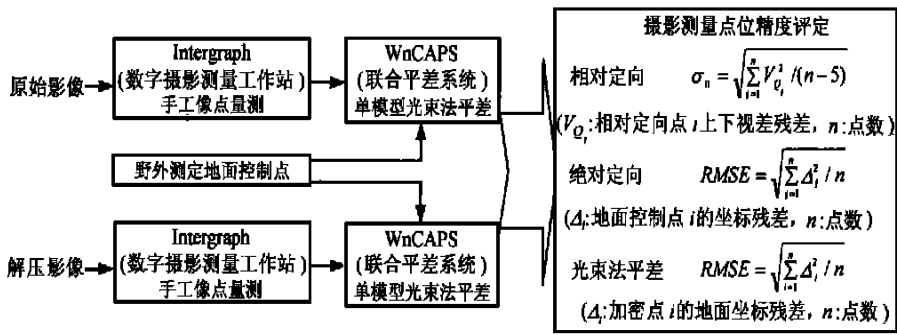


图 2 摄影测量点定位过程

Fig. 2 Flowchart of photogrammetric point determination

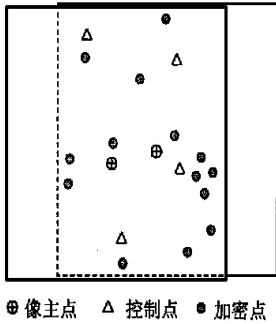


图 3 在立体模型中量测的像点
Fig. 3 Observed image points distributed over the stereo model

角楼房顶角点, 4 个为设置于高层建筑平台上的十字标志地面控制点, 其余均为地面上的明显地物, 所有选定的地物点在原始影像上清晰可辨, 图 4 影像是它们中的一些样例。

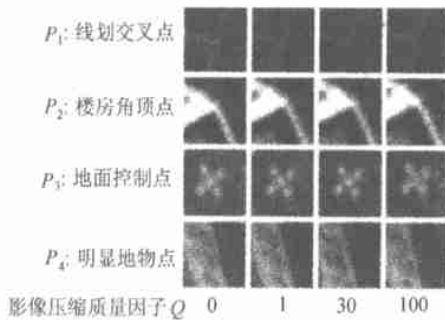
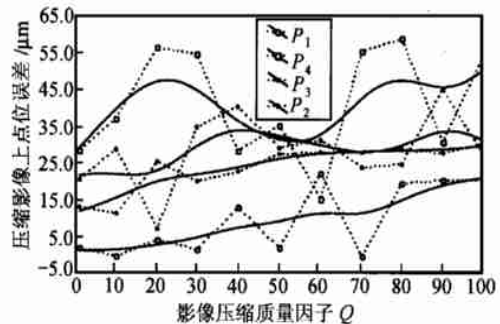


图 4 不同压缩倍率影像中量测像点的位置偏差

Fig. 4 Position difference of image measurement vs. Q factor



为了探讨影像压缩对摄影测量点定位精度的影响, 我们利用 Intergraph 数字摄影测量工作站上提供的 JPEG 压缩工具分别对原始数字影像采用 1, 10, ..., 100 共 11 种不同的质量因子 (Q) 进行了失真 JPEG 压缩, 得到了一组压缩影像, 表 1 和表 2 分别列出了不同质量因子下左、右影像的压缩比、逼真度、峰值信噪比以及用重建影像进行内定向的精度,

图 5 显示了压缩比和峰值信噪比随质量因子的变化趋势, 图中实线为最小二乘拟合曲线(后续的图形均如此)。压缩后的各立体影像按照图 2 的作业过程逐一进行了摄影测量点定位, 并分别与由原始立体影像所确定的坐标“真值”进行了比较, 表 3 给出了单模型相对定向、绝对定向和光束法平差的精度, 其变化曲线分别示于图 6—图 8 中。

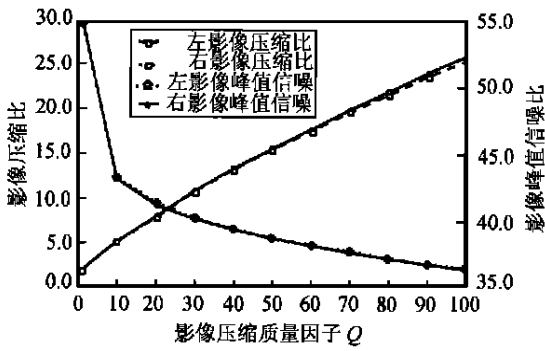


图5 不同压缩水平影像的压缩比和峰值信噪比
Fig. 5 Compression Ratio and PSNR vs. Q factor

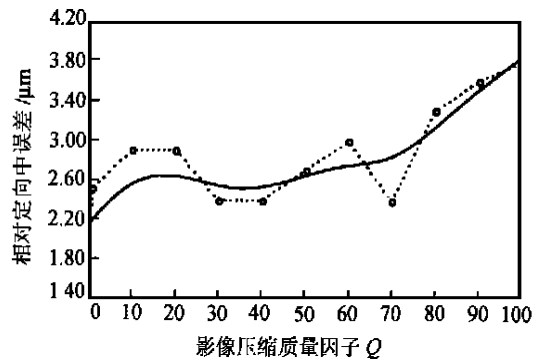


图6 不同压缩水平影像相对定向的精度
Fig. 6 Accuracy of relative orientation vs. Q factor

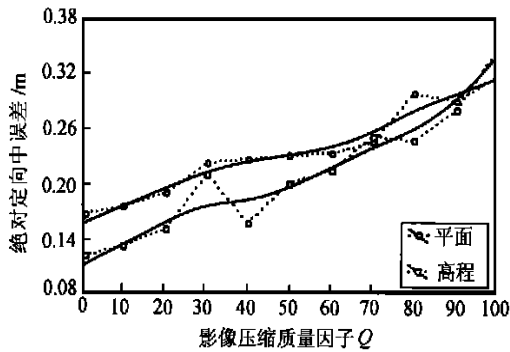


图7 不同压缩水平影像绝对定向的精度
Fig. 7 Accuracy of absolute orientation vs. Q factor

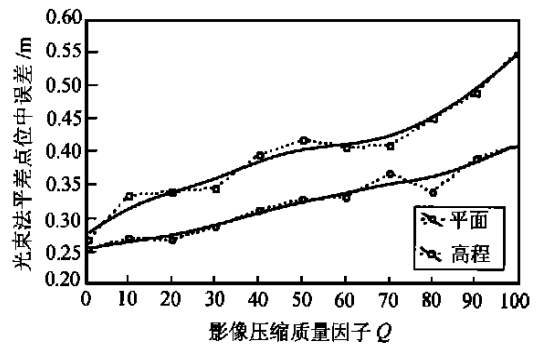


图8 不同压缩水平影像加密点的精度
Fig. 8 Accuracy of bundle adjustment vs. Q factor

表1 左影像内定向精度

Table 1 Accuracy of interior orientation with JPEG compressed images of the left image

| Q | 0 | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ratio | | 1.93 | 5.10 | 7.94 | 10.86 | 13.35 | 15.60 | 17.77 | 19.97 | 21.98 | 24.03 | 25.92 |
| Fidelity | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.998 |
| PSNR | | 54.55 | 43.16 | 41.25 | 40.23 | 39.41 | 38.76 | 38.20 | 37.69 | 37.23 | 36.81 | 36.45 |
| $\sigma_0/\mu\text{m}$ | 5.0 | 5.0 | 5.1 | 4.9 | 5.0 | 4.8 | 5.2 | 5.1 | 5.2 | 5.1 | 5.2 | 5.4 |

表2 右影像内定向精度

Table 2 Accuracy of interior orientation with JPEG compressed images of the right image

| Q | 0 | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ratio | | 1.92 | 5.08 | 7.84 | 10.77 | 13.25 | 15.46 | 17.56 | 19.68 | 21.62 | 23.60 | 25.42 |
| Fidelity | | 1.000 | 1.000 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.998 |
| PSNR | | 54.54 | 43.06 | 41.13 | 40.12 | 39.32 | 38.68 | 38.13 | 37.62 | 37.17 | 36.75 | 36.39 |
| $\sigma_0/\mu\text{m}$ | 4.9 | 4.9 | 5.1 | 5.0 | 5.1 | 5.3 | 5.0 | 5.5 | 5.5 | 5.6 | 5.2 | 5.5 |

表 3 立体模型点定位精度

Table 3 Accuracy of photogrammetric point determination with JPEG compressed image pairs

| Q | 相对定向 | 绝对定向/m | | | | 单模型光束法平差 | | | | | 精度衰减度/% | |
|-----|------------------------|--------|------|-------|-------|------------------------|------|------|-------|-------|---------|-----|
| | $\sigma_0/\mu\text{m}$ | X | Y | XY | Z | $\sigma_0/\mu\text{m}$ | X/m | Y/m | XY/m | Z/m | XY | Z |
| 0 | 1.7 | 0.05 | 0.14 | 0.149 | 0.103 | 2.8 | 0.47 | 0.52 | 0.070 | 0.201 | | |
| 1 | 2.5 | 0.08 | 0.15 | 0.167 | 0.122 | 5.4 | 0.13 | 0.22 | 0.254 | 0.270 | 262 | 34 |
| 10 | 2.9 | 0.08 | 0.16 | 0.176 | 0.133 | 7.3 | 0.07 | 0.26 | 0.272 | 0.334 | 288 | 66 |
| 20 | 2.9 | 0.11 | 0.15 | 0.190 | 0.151 | 5.7 | 0.17 | 0.20 | 0.268 | 0.341 | 283 | 70 |
| 30 | 2.4 | 0.10 | 0.20 | 0.222 | 0.210 | 6.5 | 0.15 | 0.24 | 0.288 | 0.346 | 311 | 72 |
| 40 | 2.4 | 0.12 | 0.19 | 0.226 | 0.157 | 5.6 | 0.13 | 0.29 | 0.312 | 0.395 | 346 | 96 |
| 50 | 2.7 | 0.12 | 0.20 | 0.232 | 0.200 | 5.9 | 0.17 | 0.28 | 0.329 | 0.417 | 370 | 107 |
| 60 | 3.0 | 0.12 | 0.20 | 0.234 | 0.215 | 8.2 | 0.18 | 0.28 | 0.332 | 0.406 | 374 | 102 |
| 70 | 2.4 | 0.11 | 0.22 | 0.245 | 0.251 | 4.6 | 0.16 | 0.33 | 0.367 | 0.409 | 424 | 103 |
| 80 | 3.3 | 0.14 | 0.24 | 0.298 | 0.247 | 8.2 | 0.16 | 0.30 | 0.341 | 0.452 | 387 | 125 |
| 90 | 3.6 | 0.15 | 0.25 | 0.291 | 0.280 | 7.0 | 0.21 | 0.33 | 0.391 | 0.491 | 458 | 144 |
| 100 | 3.8 | 0.15 | 0.28 | 0.316 | 0.347 | 7.0 | 0.20 | 0.36 | 0.412 | 0.555 | 488 | 176 |

注:1. Q 为 0 表示原始影像,其单模型光束法平差点定位精度为平均理论精度,即 $m_i = \sigma_0 \sqrt{(Q_{XX})_i}$, ($i = X, Y, XY, Z$);

2. Q 为 1 到 100 表示压缩影像,其单模型光束法平差点定位精度为实际精度,是由除控制点以外的 14 个加密点坐标不符值 Δ_i 所求出的平均中误差,即 $\mu_i = \sqrt{\sum \Delta_i^2/14}$ ($i = X, Y, Z$); $\mu_{XY} = \sqrt{\mu_X^2 + \mu_Y^2}$;

3. 加密精度衰减度是以平均理论精度 m_i 为基准计算的,即 $(\mu_i - m_i)/m_i$, ($i = XY, Z$)。

4 结果分析

分析以上试验结果,我们看到:

(1) 由图 5 可知,随着 Q 的增大,影像的压缩比几乎成直线上升,影像的质量在迅速下降,特别是当 Q 由 1 增大到 10 时,影像的峰值信噪比出现了一个跃变,但直到用 Intergraph 数字摄影测量工作站推荐的 $Q=30$ 去压缩影像时,影像的可视化质量仍未发现有明显的影响(图 4)。此时,左、右影像的压缩比均达到 10,数据量减少到了未压缩影像的十分之一。

(2) 从表 1、表 2 中的精度值看,在 25 倍以下倍率的 JPEG 压缩影像中,影像内定向的精度几乎未受影响。也就是说,低倍率的 JPEG 影像压缩,引起航空数字影像的几何形变在摄影测量容许的误差范围内。通过量测发现,尽管随着压缩比的增大,影像的可视化质量逐渐衰减,即使是出现了较为严重的马赛克现象,对非常规则的十字光学框标影像而言,依然可以精确地判准其中心位置,框标点的工人量测仍然可以保证足够高的精度,内定向过程中,还可以改正部分影像系统误差。因此,总体看来,内定向精度受影像压缩的影响不大,这就充分促证了摄影测量点定位的像平面坐标基准不会改变,真有十分重要的意义。

(3) 在摄影测量点定位过程中,相对定向的精

度是由模型点的上下视差残差所求出的平均中误差,反映了像点的整体量测精度。数字摄影测量系统的最大优点之一是可以通过影像相关技术自动识别和量测像点,由于试验所用的 Intergraph 数字摄影测量工作站还未配备自动空中三角测量软件,我们不得不采用手工方式量测像点。图 6 清楚地表明,影像压缩对一般像点量测精度的影响是比较明显的。从图 4 看到,随着压缩比的增大,影像变得越来越模糊。不过,标志点,形状规则,辨认较为容易,即使是在模糊影像中也能比较准确地照准其中心位置,量测精度比较高;一般地物点,随着影像模糊变大,判读越来越困难,量测精度明显降低。因此,就单个模型而言,总体量测精度是愈来愈低,但具体到某一压缩水平的影像对,由于人眼视觉限制,在个别影像质量较差的点上可能会出现较大的辨认误差,甚至使得在高压缩比影像上反而得到了比较好的量测精度,这一点在图 4 右半部分的像点位置量测误差(压缩影像量测点相对于原始影像量测点位的平面位移)中体现得特别清楚。这个模型中,一共有 18 个像点参与相对定向,而模型的相对定向精度是由所有点共同作用的结果,因此,最终的相对定向精度还是表现为随压缩比的增大而降低。

(4) 图 7 显示了由一组不同压缩水平的立体影像对所建立的单模型绝对定向的精度变化趋势,该精度值是由 4 个标志点的地面坐标残差所求得的均方根误差,主要反映的是控制点的量测精度。我们

看到,随着影像压缩比的增大,控制点的坐标残差几乎呈线性放大,且平面位置残差明显大于高程残差。这也进一步说明了,影像的压缩比越大,影像几何形变越大,像点照准越困难,量测精度也越低。应该说,标志点的量测受主观因素的干扰比较小,这一精度是比较客观的。

(5) 图8为单模型光束法平差所确定的加密点地面坐标相对精度变化曲线,该精度值是利用除控制点以外的14个加密点相对于其坐标“真值”的较差所得到的平均中误差,这是一个综合精度测度。从图中可以看出,随着影像压缩比的增大,摄影测量点定位的精度在迅速下降,但加密点平面位置精度较其高程精度的衰减速度要慢一些。表3的数值表明,如果将以从原始影像所获得的加密点位平均理论精度为基准,当 Q 为1时,加密点的平面、高程精度分别降低了263%和34%;当 Q 为30时,加密点的平面、高程精度降低了311%和72%;当 Q 为100时,加密点的平面精度衰减达488%,高程精度损失达176%。如果扣除“真值”本身的误差,精度的衰减幅度会小得多。但总体说来,影像的压缩对摄影测量点定位精度的影响是非常大的,压缩本身是一个质的飞跃,压缩倍率的大小只是一个量的变化过程。

5 结论与讨论

本文采用数字摄影测量手段,通过对数字航空立体影像确定单点目标位置精度的试验,研究了JPEG压缩对影像手工量测精度的影响及其在数字摄影测量点定位中的应用潜力。试验结果表明,当影像压缩比在10以下时, JPEG压缩影像的可视化质量不会受到严重影响,利用数字摄影测量工作站进行人工像点量测,可以保证较高的量测精度,但摄影测量点定位精度有所降低,此时,数字影像的数据量只为原始影像的十分之一,节省的数据存储空间是十分可观的;然而,如果采用数字影像相关全自动量测,由于数字图像处理算法比人眼视觉对影像质量要敏感得多,可能压缩比很小的失真压缩,也会对象点量测精度造成不容忽视的影响,并且,随着压缩比的增大,影像的质量会不断下降,摄影测量点定位的精度一定会变得愈来愈低,关于这方面的研究我们还将继续。当然,测量总是允许有一定误差的,随着对成果精度要求的不同,影像压缩技术在数字摄影测量中的应用还是有前途的,而且是非常有用的。

不过,采用多大的压缩比,应根据实际应用的需要来确定。

致谢 本实验承蒙武汉大学宣家斌教授、胡庆武同志提供部分自编影像压缩软件,特此致谢!

参考文献 (References)

- [1] Chaddha N, Agrawal A, Gupta A, Meng T H. Variable Compression Using JPEG [C]. Proceedings of the International Conference on Multimedia Computing and System, 1994, 562—596.
- [2] Memon N D, Sayood K, Magliveras S S. Lossless Compression of Multispectral Image Data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1994, **32**(2): 282—289.
- [3] Xuan Jiabin, Hu Qingwu. The Technique of Guasi-lossless Compression of Remote Sensing Image [J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 1999, **24**(4): 290—294 [宣家斌, 胡庆武. 遥感图像无损压缩技术的研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, **24**(4): 290—294].
- [4] Algarni D A. Compression of Remotely Sensed Data Using JPEG [C]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, **31**(B3): 24—28.
- [5] Lammi J, Sarjakoski T. Compression of Digital Color Images by the JPEG [C]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1992, **29**(B2): 456—460.
- [6] Tada T, Cho K, Shimoda H, Sakata T. An Evaluation of JPEG Compression for On-line Satellite Image Transmission [C]. Proceedings I-GARSS '93, Geoscience and Remote Sensing Symposium on Better Understanding of Earth Environment, 1993, **3**: 1515—1518.
- [7] Wang Chungsheng, Yu Bingxi, Dai Yisong, et al. A Transform Coding Compression of Hyperspectral Image with its Edge Features Retained [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2000, **4**(2): 95—99. [王春胜, 禹秉熙, 戴逸松等. 高光谱图像数据变换编码压缩方法[J]. 遥感学报, 2000, **4**(2): 95—99.]
- [8] Zhang Rong, Liu Zhengkai, Zhan Shu. Wavelet-based Compression for Multispectral Imagery [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2000, **4**(2): 100—105. [张荣, 刘政凯, 詹曙. 基于小波变换的多光谱图像压缩方法[J]. 遥感学报, 2000, **4**(2): 100—105.]
- [9] Jackson D J, Hannah S J. Comparative Analysis of Image Compression Techniques [C]. Proceedings SSST '93, The 25th Southeastern Symposium on System Theory, 1993, 513—517.
- [10] Novak K, Shahin F S. A Comparison of Two Image Compression Techniques for Softcopy Photogrammetry [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1996, **62**(6): 695—701.
- [11] Mikhail E M, Akey M L, Mitchell O R. Detection and Sub-pixel Location of Photogrammetric Targets in Digital Images [J]. *Photogrammetria*, 1984, **39**(3): 63—83.
- [12] Lammi J, Sarjakoski T. Image Compression by the JPEG Algorithm [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1995, **61**(10): 1261—1266.
- [13] Reeves R, Kubik K, Lu Y H. JPEG Comparison and DTM Accuracy [C]. Technical Paper of 1997 ACSM/ASPRS Annual Convention and

- Exposition, 1997, **2**: 342—346.
- [14] Reeves R, Kubik K, Friend M. Towards a Model Relating DTM Accuracy to JPEG Comparison Ratio [C]. *Proceedings of the 4th ACM Workshop on Advances in Geographic Information System*, 1997, 44—49.
- [15] Lam K W K, Li Z L, Yuan X X. Effects of JPEG Compression on the Accuracy of Digital Terrain Models Automatically Derived from Digital Aerial Images [J]. *Photogrammetric Record*, 2001, 17(97).
- [16] Correa A C, Blanchard A J, Becker J. The Impact of Lossy Compression on the Output of Supervised and Unsupervised Classification Products [C]. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1998, **4**: 1745—1747.
- [17] Nunes P R R L, Alciam A, da Silva M R L F. Compression of Satellite Images for Remote Sensing Applications [C]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1992, **29**(B2): 479—483.
- [18] Paola J D, Schowengerdt R A. The Effect of Lossy Image Compression on Image Classification [C]. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium-Quantitative Remote Sensing for Science and Applications*, 1995, **1**: 118—120.
- [19] Wallace G K. The JPEG Still Picture Compression Standard [J]. *Communication of ACM*, 1991, **34**(4): 127—142.
- [20] Yuan Xiuxiao. Principle Software and Experiment of GPS-supported Aerotriangulation [J]. *Geo-Spatial Information Science*, 2000, **3**(1): 24—33.

Effects of JPEG Compression on the Accuracy of Photogrammetric Point Determination

YUAN Xiu-xiao^{1,2}, LI Zhi-lin², LAM Kent W. K.²

(1. School of Information Engineering in Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Department of Land Surveying and Geo-Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: This paper is to investigate empirically the accuracy effects of photogrammetric point determination (PPD) using digital aerial stereo images with different level of JPEG compression as well as the suitability of adopting JPEG standard to compress digital aerial images. A pair of aerial black-white photos with 1:8000 scale taken from a city proper was selected and scanned at a resolution of 25 μ m. We measured 18 image points with ISDM (Image Station Digital Mensuration) of Intergraph digital photogrammetric workstation and performed the bundle adjustment by single model with WuCAPS_{GPS} (Wuhan GPS-supported bundle block adjustment) developed by the authors. In processing various JPEG compressed images with Q -factors from 1 to 100, the accuracy of the 3D coordinates of photogrammetric points was assessed and compared. The empirical results have shown that, when the compression ratios are under 10, the visual quality of JPEG compressed images is excellent and the accuracy of manual image mensuration is not influenced in essence. Although the significant differences of 3D coordinates of pass points are found in the bundle adjustment with different JPEG compressed images, the resulting accuracy of PPD will also meet the requirement for most photogrammetric applications. Therefore, a compression ratio of 10 could be recommended for photogrammetric point determination.

Key words: JPEG compression; interior orientation; relative orientation; absolute orientation; bundle adjustment; accuracy