

一种评价图象压缩 对量测性能影响的可靠方法*

钱曾波 耿则勋

(郑州测绘学院 郑州 450052)

摘要 如何评价一种图象压缩方法对图象量测性能的影响,目前还没有切实可行的方法。本文提出一种评价图象压缩对解压图象量测性能影响的方法,该方法不仅与视觉效果的评价准则相一致,而且能够定量地给出压缩方法对解压图象上像素几何位置的影响程度,因而适用于高精度的数字摄影测量和其它高精度的数字图象处理领域。

关键词 图象压缩, 影象匹配, 数字图象处理, 图象质量评估

1 引言

数字图象巨大的数据量已给涉及图象存储与传输的许多应用领域带来严重的障碍,因此对图象数据进行压缩具有十分重要的意义。如何评价图象压缩方法的视觉效果,即解压图象从视觉观赏角度来看的好坏,已有一些方法,如主观评价准则和客观评价准则等。这些评价准则对某些应用领域,如电视、可视电话等,基本上可以满足实际应用的需要,因而是可以接受的。但在另外一些应用领域,如数字摄影测量、计算机视觉等,由于其最终的解压图象不仅供人观看,而更主要的还要用计算机代替人眼对其进行仔细的和量测,以便对感兴趣的目标进行空间定位,此时解压图象上像素的几何位置就显得尤为重要,因为像素几何位置的改变将直接影响到最终目标空间位置的精度。因此,在这些应用领域需要一种定量的指标,以度量解压图象上像素的几何位置由于受压缩的影响所产生的位移或畸变程度,并由此畸变程度来评价压缩方法的优劣,以及确定满足应用要求的压缩比。这里的位移或畸变是指解压图象上像素的几何位置由于受压缩的影

响,相对于压缩前的几何位置所产生的偏离或改变。一般将这种偏离或改变称为几何畸变。用于评价解压图象视觉质量的主观评价准则和客观评价准则,特别是实际中最常用的一种客观评价指标——峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio,缩写为PSNR),仅给出了压缩前后像素灰度值之间的畸变程度(这种畸变一般称之为辐射畸变),而不能定量指出解压图象的几何畸变程度,因而仅用这些指标已不能满足这些高精度数字图象处理领域的需要。但如何定量度量解压图象的几何畸变程度,目前还没有人提出任何可行的方法。本文提出了一种定量度量解压图象几何畸变程度的方法,该方法不仅与评价解压图象视觉质量的客观评价准则相一致,而且还能定量指出图象压缩对图象量测性能的影响程度,即几何畸变程度,因而能满足一些高精度数字图象处理,如数字摄影测量、计算机视觉等领域的需要。实验表明,该方法是可行的。

2 评价方法

最小二乘(Least Square,缩写为LS)图象匹配^[1]算法是一种顾及到匹配图象之间的几何畸变和

* 收稿日期:1996.02.02;收到修改稿日期:1996.04.18

辐射偏差的最小距离度量算法。它是在匹配窗口内，利用同名象素（同名象素是指同一目标点在压缩前后两幅图象上所对应的一对象点）灰度值差的平方和为最小的原理，估计原始图象和解压图象（有时称之为匹配图象）之间的畸变的参数，并进行畸变改正，达到最终配准的目的。

假定同一目标点在压缩前后图象上的象点分别表示为 $f(x_u, y_u)$ 和 $g(x_c, y_c)$ ，在无损压缩的情况下，两幅图象上匹配窗口内对应的象点灰度值相等，即：

$$f(x_u, y_u) = g(x_c, y_c) \quad (1)$$

如果在匹配窗内，象点坐标都以各自匹配窗的中心作为坐标原点，则又有：

$$\begin{cases} x_u = x_c \\ y_u = y_c \end{cases} \quad (2)$$

但在有损压缩的情况下，由于受信息损失的影响，压缩前后图象上的同名象素之间存在着几何变形和灰度偏差以及噪声的影响，使得式（1）和（2）得不到满足。对解压图象上象素灰度值相对于原始图象上象素灰度值的偏差可用一个线性变换式^[1]加以描述，这样式（1）变为：

$$\begin{aligned} v(x_c, y_c) &= F_0(x_c^0, y_c^0) + \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial F}{\partial b_i} \right)^0 db_i + \sum_{j=1}^6 \left(\frac{\partial F}{\partial a_j} \right)^0 da_j \\ &= F_0(x_c^0, y_c^0) - db_1 - g(x_c^0, y_c^0) db_2 - b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^0 \cdot da_1 - b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^0 \cdot x_u \cdot da_2 \\ &\quad - b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^0 \cdot y_u \cdot da_3 - b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^0 \cdot da_4 - b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^0 \cdot x_u \cdot da_5 - b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^0 \cdot y_u \cdot da_6 \\ &= -b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^0 \cdot (da_1 + x_u \cdot da_2 + y_u \cdot da_3) - b_2^0 \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^0 \cdot (da_4 \\ &\quad + x_u \cdot da_5 + y_u \cdot da_6) - db_1 - g(x_c^0, y_c^0) db_2 + F_0(x_c^0, y_c^0) \end{aligned} \quad (8)$$

此即为线性化灰度值误差方程，其中：

$$\begin{cases} F_0(x_c^0, y_c^0) = f(x_u, y_u) - b_1^0 - b_2^0 g(x_c^0, y_c^0) \\ x_c^0 = a_1^0 + a_2^0 \cdot x_u + a_3^0 \cdot y_u \\ y_c^0 = a_4^0 + a_5^0 \cdot x_u + a_6^0 \cdot y_u \\ \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^0 = \frac{\partial g}{\partial x} \Big|_{(a_j^0, 1 \leq j \leq 6)} \\ \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^0 = \frac{\partial g}{\partial y} \Big|_{(a_j^0, 1 \leq j \leq 6)} \end{cases} \quad (9)$$

对原始图象与解压图象上，分别以 (x_u, y_u) 和 (x_c^0, y_c^0) 为中心的一定大小范围内的每一象素，均按式（8）和（9）列出线性误差方程，联立得到线性误差方程组。LS 图象匹配的基本原理就是在误差的平方和达到极小的条件下，求出各参数的最佳改正值 db_i 和 da_j ($i=1, 2, j=1, 2, \dots, 6$)。由于误差方程经过线性化处理，所以要进行迭代求解，即

$$f(x_u, y_u) = b_1 + b_2 \cdot g(x_c, y_c) + n(x_c, y_c) \quad (3)$$

其中， $n(x_c, y_c)$ 为噪声， b_i ($i=1, 2$) 为辐射畸变参数。对解压图象上象素几何位置的改变，可用一个双变量的一次多项式^[1]表示：

$$\begin{cases} x_c = a_1 + a_2 x_u + a_3 y_u \\ y_c = a_4 + a_5 x_u + a_6 y_u \end{cases} \quad (4)$$

其中， a_i ($i=1, 2, \dots, 6$) 为待定的几何畸变参数。

若记：

$$\begin{cases} v(x_c, y_c) = n(x_c, y_c) \\ F(x_c, y_c) = f(x_u, y_u) - b_1 - b_2 g(x_c, y_c) \end{cases} \quad (5)$$

则式（3）变为：

$$\begin{aligned} v(x_c, y_c) &= f(x_u, y_u) - b_1 - b_2 g(x_c, y_c) \\ &= F(x_c, y_c) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{设} \begin{cases} b_i = b_i^0 + db_i & i = 1, 2 \\ a_j = a_j^0 + da_j & j = 1, 2, \dots, 6 \end{cases} \quad (7)$$

其中， b_i^0, a_j^0 分别为各待定参数的初始值， db_i, da_j 为其相应的改正值。将式（4）代入式（6），然后将 $F(x_c, y_c)$ 的各参数按泰勒级数展开，并取至一次项，有：

用前一次求出的改正值加上初始值作为新的初值，再建误差方程组，并重新求解改正值。这样经过反复迭代（一般经过了 3—5 次即可收敛，即各改正值的绝对值小于指定限值），即可求出各参数的最佳改正值，再由式（7）可求出各参数值，最后再由式（4）求出匹配点的最终位置 (x_c, y_c) 。各参数的初值选取一般为：

$$\begin{cases} b_1^0 = 0, & b_2^0 = 1; \\ a_2^0 = a_6^0 = 1 \\ a_1^0 = a_3^0 = a_4^0 = a_5^0 = 0 \end{cases} \quad (10)$$

本文提出的方法就是在压缩前后两幅图象上，逐象素地选定基准窗 [原始图象上以 (x_u, y_u) 为中心的 $N \times N$ 大小的窗口] 和匹配窗 [解压图象上以初始位置 (x_c^0, y_c^0) 为中心的同样大小的窗口， x_c^0, y_c^0 按式（9）计算]，然后对窗口内每一象素按式

(8) 列出线性误差方程，联立形成方程组，按前述方法求出解压图象上与 $f(x_u, y_u)$ 配准的最终位置 (x_c, y_c) ，记：

$$\begin{cases} \Delta x = x_u - x_c \\ \Delta y = y_u - y_c \end{cases} \quad (11)$$

以 $\Delta x, \Delta y$ 来度量原始图象上像素 $f(x_u, y_u)$ 经压缩后其几何位置的畸变程度。若设定限差为 δ_x, δ_y ，则可统计出满足条件：

$$\begin{cases} |\Delta x| \leq \delta_x \\ |\Delta y| \leq \delta_y \end{cases} \quad (12)$$

的像素在总体参加匹配像素中所占的百分比，并用该百分比从总体上定量度量压缩方法保持量测精度的程度。

3 实验及结果

实验中我们对一幅航空影象用两种不同的方法进行了不同倍数之下的压缩，然后在原始图象和解压图象之间进行了逐点 LS 匹配，对匹配失败的点数和成功点数中满足 $|\Delta x| \leq 0.1$ 像素、 $|\Delta y| \leq 0.1$ 像素的点所占的百分比进行了统计，结果见表 1 和表 2。

表 1
Table 1

压缩比	PSNR	不成功 点数 (%)	$ \Delta x \leq \delta_x$ 点数 (%)	$ \Delta y \leq \delta_y$ 点数 (%)
2	36.66	2.6	97	97
4	29.37	13.2	82	82
6	27.34	25	65	63
8	26.18	35	50	50

表 2
Table 2

压缩比	PSNR	不成功 点数 (%)	$ \Delta x \leq \delta_x$ 点数 (%)	$ \Delta y \leq \delta_y$ 点数 (%)
2	39.14	1.5	98	98
4	29.49	10.9	83	81
6	28.01	22	66	63
8	27.37	31	52	52

在表 1 中，影象的压缩是采用国际静态图象压缩标准 (Joint Photograph Expert Group 缩写为

JPEG) 的基本算法，该算法之详细内容见 [2]。表 2 中影象的压缩是采用作者提出的基于小波变换的压缩方法。其算法的主要过程为，首先对影象进行了小波分解^[3]，对低频近似影象采用 DCT (Discrete Cosine Transform) 加熵编码，而对高频细节影象则采取无记忆均匀量化加熵编码。

实验中所用的影象为取自汉中地区的航空影象，影象大小为 512×512 象素，每象素 8 比特量化，影象扫描象素大小为 50 微米。LS 匹配中，匹配总点数为 40000，窗口大小为 15×15 象素，迭代次数为 5。表中 PSNR 的具体定义为：

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{255 \times 255}{MSE}$$

$$MSE = \frac{1}{N \times M} \sum_{i,j} (x_{ij} - \hat{x}_{ij})^2$$

N, M 分别为图象之宽和高， x_{ij}, \hat{x}_{ij} 分别为原始图象与解压图象上 (i, j) 处的象素灰度值。

需要说明的是，表中不成功的点，是指以该点为中心所得到的线性化误差方程组求解过程中迭代不收敛。其原因是由于受压缩的影响，相应象点消失，或其附近区域所产生的畸变 (包括辐射畸变和几何畸变) 过大。坐标误差的限差 δ_x, δ_y 可由使用者根据具体情况确定。实验中选取的限差为 $\delta_x = \delta_y = 0.1$ 象素。

4 结束语

实验证明，本文提出的评价图象压缩对图象量测精度影响的方法是科学、客观和可行的，且与常用的评价压缩方法的视觉质量的客观评价准则 PSNR 相一致 (从实验结果可以看出，随着压缩比的提高，PSNR 值下降，而影象的量测性能亦下降)。该方法适用于高精度的计算机视觉、数字摄影测量与遥感等数字图象处理领域。

参考文献

[1] Wang Zhizhuo. Principle of Photogrammetry with Remote Sensing. Publishing House of Surveying & Mapping, Beijing, 1990
 [2] G. K. Wallace. The JPEG Still Picture Compression Standard. *Communication of the ACM*, 1991, Vol. 3, No. 4.
 [3] S. G. Mallat. A Theory for Multiresolution signal Decomposition: The Wavelet Representation. *IEEE. ASSP* 1989, Vol. 11, No. 7, 674-693.



钱曾波, 郑州测绘学院教授, 摄影测量与遥感学科博士生导师, 全国、全军优秀教师, 享受政府特殊津贴。有两本著作分别获全国优秀测绘教材一、二等奖, 科研成果中, 有一项获全国科学大会奖, 三项获全军科技进步奖。目前主要研究领域是数字图象处理、数字摄影测量、图象信息系统及三维地形造型。

A Reliable Method for Assessing the Influence of Image Compression on the Image Measurement Quality

Qian Zengbo , Geng Zexun

(Zhengzhou Institute of Surveying & Mapping Zhengzhou 450052 China)

Abstract Up to now, there is no any practical and available method to assess the influence of image compression on the image measurement quality. This paper proposes a reliable method which not only agrees with the assessment criterion of the visual effect but also can quantitatively get the geometrical position distortion under the influence of image compression. Therefore it is suitable for high precision digital photogrammetry and other high precision digital image processing.

Keywords Image compression, Image matching, Digital image processing, Quality assessment of image

科技动态

北京电信、AT&T、CLI

为奥运会提供 ISDN 会议电视服务

美国视讯公司 (CLI) 1996 年 7 月 17 日讯 由北京电信、AT&T、CLI 支持国家奥委会的 ISDN 会议电视通讯设备已正式联通, 投入运行, 提供北京和亚特兰大之间面对面的视讯通讯服务。

7 月 14 日上午 11:00, 国家体委主任伍绍祖、北京市电信管理局局长倪益麟等来到位于国家体委的会议室与在美国的奥运先遣团人员通话, 奥运村的国家奥委会秘书长魏纪中出席了中美间的首次电视会议。伍绍祖主任询问了亚特兰大的天气情况、奥运村的饮食情况以及中国运动员的竞技状况。魏纪中秘书长一一作了介绍。

7 月 16 日是中国体育代表团进驻奥运村的第一天, 上午 11:00 国家体委副主任张发强在国家体委会议室再一次通过 ISDN 会议电视通讯设备与远在亚特兰大的国家奥委会秘书长魏纪中进行了面对面的通话。魏纪中秘书长介绍说现在已有 273 名中国运动员进驻奥运村, 伙食也有了改进, 在运动员村会场有 CLI 的技术工程人员提供全天 24 小时的服务, 可随时与国内进行可视通讯。双方共同约定在奥运会期间将每天定时召开电视会议, 了解奥运会的最新进展情况。

7 月 17 日, 在中美间每日会议期间, 中国体育报的记者通过会议电话采访了国家体委宣传司司长、中国代表团发言人何慧娴, 了解了有关中国运动员各项的准备情况以及运

动员的状态情况。

国家体委和在美国的奥运负责人共同感谢北京电信局将最新的通讯技术带到体委, 这是科技对体育的实际支持, 也是对今年世界电信日“电信与体育”主题的最好体现。与会的体委人士对从亚特兰大传来的清晰图象和极佳的声音质量表示非常满意, 更深深地体会到我国体育事业的发展需要当今世界上最先进的通讯技术为之提供服务。

此次国家体委使用的 ISDN 视频服务是由北京电信、美国 AT&T、美国 CLI 公司合作提供的, 倪益麟局长表示, 作为拓展国内 ISDN 市场的第一步, 相信 ISDN 会议电视业务这一在国外已蓬勃开展的新技术在国内也会有很好的发展。

此次中国奥委会使用的会议电视终端系统是北京电信部门于今年 6 月引进的美国视讯公司 (CLI) 的会议电视系统 eclipse gold, 该系统是 CLI 今年推出的最新产品, 也是当今世界上最先进的技术, 可提供 384Kbps 速率下每秒 30 帧的最佳图象质量, 与国际标准完全兼容, 并且支持 T. 120 标准, 首次可以实现“全面视像会议”, 使多个地点的个人或集团会议电视可以实现由电子白板书写、文件共享及数据交换功能, 此系统不仅是北京电信部门及中国奥委会的最佳选择, 同时也是要求中等带宽下最佳图象质量会议电视用户的理想选择。