

## 保持匹配一致性的遥感影像压缩编码\*

曾 勇 廖明生 张剑清 沈未名

(武汉测绘科技大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 39 号, 430070)

**摘 要** 基于影像匹配一致性, 结合小波变换与分析, 提出了一种适用于遥感影像的有失真压缩编码方法。考察了不同的压缩倍率对影像匹配偏移中误差的影响。

**关键词** 影像压缩; 小波变换; Mallat 算法; 质量评比; 影像匹配

**分类号** TP 751

在测绘遥感领域, 遥感影像的数据量急剧增加, 数据压缩技术是缓解庞大的数据量与存储空间和传输速率矛盾的有效途径。有研究表明, 无失真的压缩方法对遥感影像进行压缩时, 要达到 2 倍的压缩比都很困难<sup>[1]</sup>。影像比特分割的信噪结构分析表明, 遥感影像的有失真压缩是可行的<sup>[2]</sup>。事实上, 尽管有失真压缩编码方法研究已取得了相当的进展, 但是针对遥感影像及其应用特点的方法仍有待进一步研究和开发。例如, JPEG 方法虽已被大量的图像处理系统应用, 但并不很适用于测绘遥感领域<sup>[3]</sup>。此外, 以往以视觉效果来判断恢复影像质量, 而实际应用时对其还有特殊的要求, 即恢复影像的匹配、边缘检测、影像分类等重要量测与解译的结果需与原影像一致或基本一致。本文利用小波变换所具有的良好时域、频域局部化特性, 提出了一种能较好地保存图像边缘和纹理细节的遥感影像压缩的方案, 并以恢复像对的匹配结果与原像对的匹配结果一致性评价其压缩效果。

## 1 遥感影像压缩编码的流程

基于小波变换的遥感影像压缩编码分三大步骤进行, 即影像分解、量化、编码。其流程见图 1。

## 1.1 基于小波变换的影像分解

对影像而言, 可采用二维可分离小波变换, 即在水平、垂直方向分别作一维小波变换, 其分解框图见图 2 (二层分解)。在文献 [4] 中, Mallat 给出了滤波器  $H$  的系数, 见表 1 根据公式  $g(n) = (-1)^{1-n}h(1-n)$ , 不难获得滤波器  $G$  的系数,  $H$ 、 $G$  分别称作低通滤波器和高通滤波器。利用 Mal-

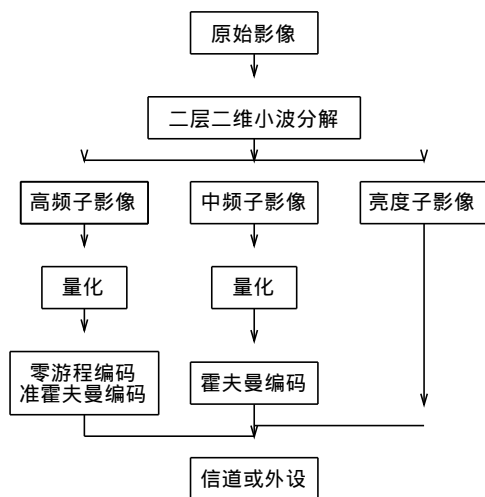


图 1 小波变换影像编码流程图

Fig. 1 Flowchart of the Image Encoding Based on Wavelet Transform

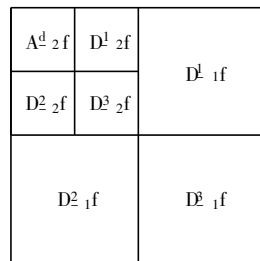


图 2 二层二维影像小波分解框图

Fig. 2 The Wavelet Decomposition

lat 算法对影像进行二层二维小波分解, 可分离出影像的低频分量和高频分量。其中  $A^d_2f$  代表影像的最低频部分, 也称亮度子影像;  $D^1_1f$ 、 $D^1_2f$  分别代表第一层、第二层小波分解后对应影像水平边缘的系数;  $D^2_1f$ 、 $D^2_2f$  分别代表第一层、第二层小波分解后对应影像垂直边缘的系数;  $D^3_1f$ 、 $D^3_2f$  则代表二层中对角的系数, 其中  $D^1_1f$ 、

$D_{2f}$  ( $i= 1, 2, 3$ ) 分别称作高频分量和中频分量,又统称为边缘子影像

表 1 滤波器  $H$  的系数表

Tab. 1 The Coefficient of the Filter  $H$

$n$	$h(n)$	$n$	$h(n)$
0	0.542	6	- 0.012
1	0.302	7	- 0.013
2	- 0.035	8	0.006
3	- 0.078	9	0.006
4	0.023	10	- 0.003
5	0.030	11	- 0.002

### 1.2 优良量化器的实现

考虑到不同影像可能对应不同的最佳量化器,而实际应用中不可能对所有影像选用各不相同的量化器,而是取某种均值.因此首先选取某一已知量化器作为初始量化器,然后根据实际压缩

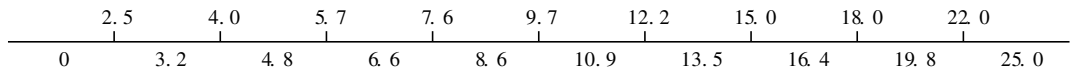


图 3 中频量化器 (19层)

Fig. 3 Quantifier for Mid-Frequency (19 Levels)

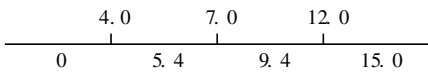


图 4 高频量化器 (7层)

Fig. 4 Quantifier for High-Frequency (7 Levels)

为 7 的情况

### 1.3 影像压缩编码

遥感影像经二层二维小波分解后,得到亮度子影像和边缘子影像.由于亮度子影像代表影像的最低频部分,其系数对恢复影像质量产生决定性的影响,因此对这一部分只采用圆整量化方式直接编码,不进行压缩.

边缘子影像中的中频分量采用霍夫曼编码.

对于高频分量,由于输出值中出现大量零值,所以针对零值可采用零游程编码方式.游程前缀用 1 比特编码,游程长度采用固定的 5 比特编码,00000~ 11111 分别表示出现连续 1~ 32 个零的情况.对于出现 32 个以上连续零的情况,可直接在后面再加若干个游程后再编码.如出现 50 个连续的零值,游程前缀若用“0”编码表示,则码字输出为 011111,010010.对于输出值为非零的情况,可采用准霍夫曼编码,对于量化级数为 7 的情况,准霍夫曼编码见表 2 所示.

## 2 试验结果

本文对航空遥感影像 (像素大小为  $25\mu\text{m}$ ) 作了大量的试验.试验表明,遥感影像经过压缩

效果进行调整,最终确定量化器系数.这种针对一般的遥感影像所设计的量化器,称为优良量化器.由于小波分解后的中频较为重要,对重建影像的影响较大,因此对中频进行精细化的量化是合理的.图 3 是针对遥感影像小波分解后的中频分量设计的量化器,量化级数为 19,图中横线上方表示量化门限,下方表示输出值.由于边缘子影像的系数基本上正负对称,所以略去负值的量化情况.考虑到小波分解后的高频分量幅度较小,对重建影像的质量影响也较小,因此对此可进行粗量化.又由于高频分量占总影像数据量的  $3/4$ ,对高频分量可采用不同的量化方式,这样做的目的是获得不同压缩比对影像匹配偏移的影响,最终得到在保持匹配一致性条件下影像的最高压缩率.图 4 是高频分量的量化器,这里只显示了量化级数

表 2 准霍夫曼编码表

Tab. 2 Para-Hoffman Encoding

量化值 (标准化)	码字	码长
1	100	3
2	101	3
3	1100	4
4	1101	4
5	1110	4
6	1111	4

后,其恢复影像主观质量优良,即便是压缩比为 8 : 1 左右时,影像恢复质量的损伤肉眼也难于察觉.限于篇幅,图 5 6 只给出了一对原始影像与其恢复影像的情况.



图 5 原始影像 (左右像对)

Fig. 5 Original Image Pair

客观影像质量评价方面,可考察影像的压缩比、信噪比与匹配偏移中误差之间的对应关系.在研究压缩比对匹配偏移中误差的影响时,鉴于所选的匹配点的性质及匹配算法的不同,分 4 种情况进行讨论:

- (a) 选取特征点,采用相关系数匹配;



图 6 恢复影像 (左右像对)

Fig. 6 Restoring Image Pair

(b) 选取特征点,采用最小二乘匹配;

(c)选取格网点,采用相关系数匹配;

(d)选取格网点,采用最小二乘匹配.

大量的试验结果表明:

(1) 随着压缩比的提高,恢复影像的信噪比下降.原因是压缩比越高,对影像的损伤程度越大,从而使恢复影像与原始影像的相似程度下降,恢复影像的信噪比自然下降.

(2) 随着压缩比的提高,恢复影像的匹配偏移中误差也跟着增大.原因是无损压缩致使影像纹理、边缘信息遭到损伤,压缩比越高,这种损伤越严重.由于匹配是针对左右影像对进行的,而严重的损伤对左右影像而言并非一致,从而使匹配发生更大的偏移.

(3) 采用不同的匹配算法,恢复影像的匹配偏移中误差相差较大.采用相关系数法求取匹配偏移中误差较最小二乘匹配的匹配偏移中误差大,原因是相关系数法求取匹配偏移中误差是以

表 3 恢复影像匹配偏移中误差

Tab. 3 Mean Square Root Error of Restored Image Matching (from Fig. 4, 5)

压缩比 左 右影像	信噪比 左 右影像	特征点		格网点	
		相关系数匹配偏移	最小二乘匹配偏移	相关系数匹配偏移	最小二乘匹配偏移
2. 2 / 2. 2	37. 0 / 37. 1	0	0. 08	0. 20	0. 06
2. 8 / 2. 9	36. 8 / 36. 8	0	0. 08	0. 20	0. 06
3. 3 / 3. 4	36. 5 / 36. 5	0	0. 08	0. 20	0. 06
4. 0 / 4. 1	36. 1 / 36. 2	0. 14	0. 08	0. 22	0. 06
4. 6 / 4. 7	35. 8 / 35. 8	0. 14	0. 08	0. 22	0. 07
5. 2 / 5. 3	35. 3 / 35. 3	0. 14	0. 09	0. 24	0. 07
6. 1 / 6. 1	34. 4 / 34. 5	0. 14	0. 09	0. 24	0. 07
7. 3 / 7. 3	33. 3 / 33. 6	0. 14	0. 10	0. 25	0. 08

表 4 恢复影像 (统计意义上) 匹配偏移中误差

Tab. 4 Mean Square Root Error of Restored Image Matching (from All Test Image)

压缩比 左 右影像	信噪比 左 右影像	特征点		格网点	
		相关系数匹配偏移	最小二乘匹配偏移	相关系数匹配偏移	最小二乘匹配偏移
2. 3 / 2. 3	39. 3 / 39. 6	0. 10	0. 08	0. 16	0. 06
2. 9 / 3. 0	38. 9 / 39. 4	0. 11	0. 08	0. 17	0. 06
3. 4 / 3. 6	38. 4 / 38. 9	0. 13	0. 09	0. 17	0. 06
4. 2 / 4. 5	37. 8 / 38. 2	0. 13	0. 09	0. 20	0. 07
4. 7 / 5. 2	37. 3 / 37. 6	0. 14	0. 09	0. 21	0. 07
5. 6 / 6. 0	36. 6 / 37. 0	0. 18	0. 10	0. 22	0. 08
6. 5 / 6. 8	35. 6 / 36. 4	0. 21	0. 10	0. 26	0. 08
7. 8 / 8. 1	34. 7 / 35. 7	0. 22	0. 11	0. 28	0. 08

整像素为单位进行计算的

(4) 点的性质不一样,匹配的结果不同.采用相关系数匹配方法时,匹配结果受点的性质影响较大,其中特征点匹配偏移中误差较格网点小;采用最小二乘方法时,匹配结果受点的影响较小,采用特征点或格网点,匹配偏移中误差大致相等.

表 3 列出了图 5 所示影像的压缩比、信噪比与匹配偏移中误差之间的对应关系.表 4 则为大量试验经过求取平均后的影像的压缩比、信噪比与匹配偏移中误差之间的对应关系.从表 4 可发现,采用最小二乘匹配时,当影像压缩比为 8: 1 左右,匹配偏移中误差在 0. 10 像素以内,对于分

辨率为 25μ m 的航空影像,只对应 2. 5μ m 的偏移,已满足了高精度测图的要求.在此意义上,我们认为较好地保持了影像匹配一致性.

### 参 考 文 献

- 1 耿则勋,钱曾波.遥感影像无损压缩编码的实验分析与改进.测绘学报,1996,25(4): 262~ 265
- 2 张祖勋,张剑清.数字摄影测量学.武汉:武汉测绘科技大学出版社,1996.162~ 163,177~ 178
- 3 周孝宽,张京.遥感图像多模式自适应量化压缩法.中国图像图形学报,1997,2(2,3): 99~ 102

## Multisource Classification of Remotely Sensed Data Based on Bayesian Data Fusion Method

Jia Yonghong Li Deren

(School of Information Engineering, W T U S M, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

**Abstract** In this paper, a new method for classification of multisource data is proposed. The images formation model, contextual model and reliability factors are taken into account in the method. The performance of the method is evaluated by fusing Landsat TM images and SAR image for land-use classification. Significant improvements in classification accuracy compared to the SAR image classifier are obtained. So it is an effective and robust method for multisource classification of remotely sensed data.

**Key words** Bayesian fusion method; autoregressive random field; contextual information; multisource classification of remotely sensed data

(上接第 247 页)

4 Mallat S G. Multiresolution Representation and

Wavelets [PHD Thesis]. Philadelphia University of Pennsylvania, 1988. 87~ 88

## The Compression of Remote Sensing Image Based on Match Consistency

Zeng Yong Liao Mingsheng Zhang Jianqing Shen Weiming

(National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,

W T U S M, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

**Abstract** A compression method of keeping match consistency on remote sensing image is represented. A lot of results of experiments are presented. The results describe the relation between image compression and match. At the same time, conclusion is drawn that for aerial remote sensing image at 25m resolution, when the compression ratio is 8: 1, match consistency is kept.

**Key words** image compression; wavelet transform; Mallat algorithm; quality criterion; image match

### 《武汉测绘科技大学学报》编辑委员会

名誉主任: 宁津生

主任: 李德仁

委员: 刘经南 王新洲 朱灼文 晁定波 张正禄

郑肇葆 龚健雅 舒宁 许云涛 张祖勋

毋河海 刘耀林 李霖 杜道生 朱元泓

詹庆明 李清泉 赵茂泰 梁荫中 柳建乔

主编: 李德仁 (兼)

副主编: 柳建乔