

一种改进的遥感图象准无损压缩 JPEG-LS 算法

吴美建 林行刚

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要 为适应遥感图象较高倍率准无损压缩的需要, 改进了 JPEG-LS 算法, 该算法首先通过放宽游程检测门限, 并通过引入局部梯度控制下的预测来增加平均游程长度, 以提高压缩比; 然后通过游程编码区域附加误差修正编码及通过重构图象平滑滤波来改善重构图象的目视效果和提高 PSNR 值; 最后, 采用 Golomb-Rice Coding 技术来对越界误差进行编码, 以保持 JPEG-LS 算法误差界可控的优点. 综合利用以上措施, 在相同单像素误差界(± 7)下, 不仅压缩比略有提高, 而且重构图象的视觉效果得到明显改善, PSNR 提高约 1~3dB.

关键词 图象处理(510·4050) 遥感图象压缩 准无损 游程编码 JPEG-LS

中图分类号: TP919.81 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)05-0596-05

An Improved Algorithm of JPEG-LS for Near-lossless Compression of Remote Sensing Images

WU Mei-jian, LIN Xing-gang

(Electronic Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In this paper, an improved JPEG-LS algorithm is proposed to meet the needs of higher near-lossless compression ratio for remote sensing images. First, the threshold magnitude for run-length coding is increased and a prediction based on the control of local gradient is employed to extend the average run-length value, and this results in higher compression ratio. Second, because the subjective quality of the reconstructed image compressed by JPEG-LS at higher ratio degrades quickly, an error-modifying approach is added to the run-length coding area and a smoothing filter is applied to the reconstructed image. Thus the rebuilt image when observed by human eyes is much better and the objective quality measured by PSNR is higher as well. Finally, Golomb-Rice Coding method, which is a part of the original JPEG-LS, is adopted to encode residual errors. This can control the maximum absolute error of every pixel value in the rebuilt image and therefore keeps the great advantage of the original JPEG-LS in the sense of error control style. Integrating the above measures into a software package, under the same limit of ± 7 for maximum absolute error of every pixel value, not only the compression ratio is somewhat increased, but also the human visual perception is obviously improved in the comparison with JPEG-LS. In our experiments, PSNR is about 1~3dB higher.

Keywords Compression for remote sensing images, Near-lossless, Run-length coding, JPEG-LS

0 引言

在传输式(非返回式)航天遥感中, 随着成像的空间分辨率和波谱分辨率的提高, 需要实时传回地面(或暂存星上)的数据量高速增长, 为使海量数据能在有限的信道带宽内下传, 研究星载遥感图象的

较高倍率压缩十分必要。

无损压缩虽可确保遥感信息不丢失, 但其不仅压缩倍率不高, 而且存在极限^[1]. 如已有的无损压缩优秀算法 CALIC^[2]、LOCO-I^[3]等, 由于其压缩比已接近理论极限, 因此在压缩比上难以取得有实际意义的提高. 由于传感器精度有限, 因此采用“不损失有用信息”的“准无损压缩”已不断引起人们的重

基金项目: 国家自然科学基金项目(60072009)

收稿日期: 2002-08-14; 改回日期: 2002-11-29

视,并认为也可以接受。

星载遥感图象压缩对算法有特定要求:首先,由压缩而引入的误差应不影响对遥感图象的各类应用;其次,压缩硬件模块必须满足星载条件。这就要求压缩算法能控制每个像素的误差范围,且重建图象目视无失真,硬件实现简单、功耗低。JPEG-LS^[4]算法以其结构简单、硬件复杂度低、功耗小、低倍率压缩性能优良等特点而适合于星载遥感图象压缩,但是,由于该算法是以无损压缩为主,兼顾低倍率(3~5 倍)的准无损压缩,因此其在较高倍率压缩时,则 PSNR 迅速下降,重建图象视觉效果也将劣化,而这一不足则限制了该算法在遥感图象压缩中的应用。为此,本文提出了一种改进的 JPEG-LS 算法,该算法在保持原算法低倍率压缩性能高、复杂度低的前提下,使在进行较高倍率的压缩时,也能获得较高质量的重建图象,从而使算法适用于星载遥感图象从无损到 8 倍准无损的压缩。

1 JPEG-LS 算法基本原理

JPEG-LS 是一种基于上下文模型的空域压缩算法,其支持无损及 L_{∞} 约束下的准无损压缩。如图 1 所示,JPEG-LS 算法的工作原理是:各像素以光栅扫描顺序依次送入编码器进行压缩编码,上下文模型根据过去处理过的数据序列,按统计特性差异来对当前像素进行分类,用以选择编码方式及控制编码各环节。由于常规编码方式采用逐像素预测编码,每像素比特不小于 1,因此,常规编码方式不能实现较高压缩比。为此,JPEG-LS 算法对量化误差为 0 的像素采用游程编码,游程编码过程由游程检测及游程长度编码两步完成。

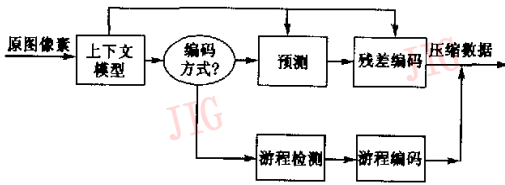


图 1 JPEG-LS 算法流程框图

为叙述方便,图 2 给出了当前编码像素的上下文位置关系。进入游程编码的上下文条件是

$$\begin{cases} |x'_{i-1,j+1} - x'_{i-1,j}| \leq E_{\max} \\ |x'_{i-1,j} - x'_{i-1,j-1}| \leq E_{\max} \\ |x'_{i,j-1} - x'_{i,j-1}| \leq E_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

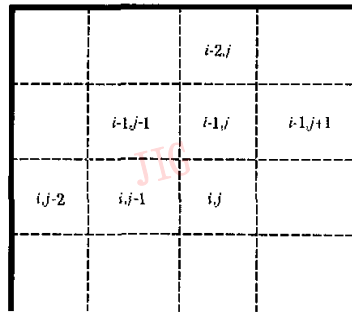


图 2 JPEG-LS 算法上下文位置关系

式中, x' 为重建像素值, E_{\max} 为最大允许误差。游程检测条件为

$$|x_{i,j} - x'_{i,j-1}| \leq E_{\max} \quad (2)$$

在游程编码区域内,当前像素 $x_{i,j}$ 的重建像素为 $x'_{i,j-1}$ 。不难看出,每个游程内重建的图象像素值都是相同的,即等于游程最左边的重建像素值。这种游程编码措施,是导致算法在较高压缩比下,重建图象目视失真的直接原因。

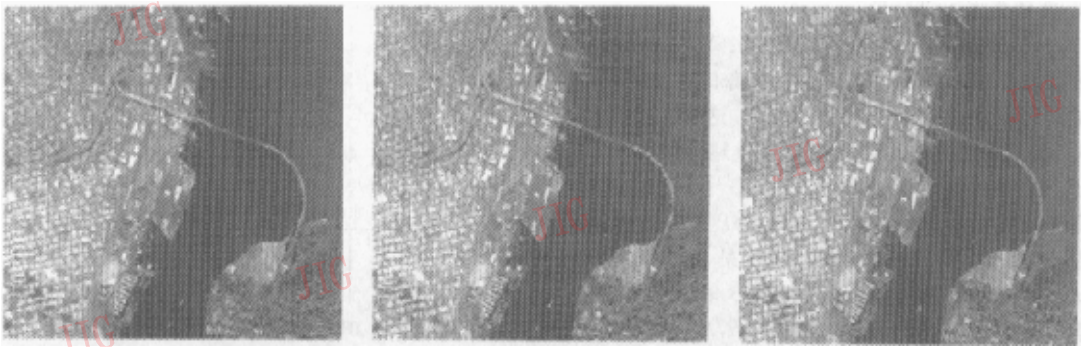
2 改进算法

高压缩比意味着以少量比特来表示图象,这样比特越少,不仅解压缩后重建图象的细节丢失会越多,而且,与算法相对应的某种“规律性”会越强。这种“规律性”往往表现为一种假目标或是假纹理,从而使重建图象的视觉效果明显劣化。如基于空域量化的压缩算法,在平坦区域就容易出现假纹理。

图 3 为改进前后 JPEG-LS 算法在 ± 7 灰度级误差界下的重建图象,图 3(b)中平坦的海面区域出现了明显的水平线状纹理。造成这一现象是由于 JPEG-LS 算法的游程编码实际上是以横线表示平坦区域(如图 4(a)所示)的缘故,由于其游程长度就是线段的长度,因此当误差界增大时,游程数量增多,长度加大,造成这些线段相对集中,致使视觉上容易被感知,由此可见,改进该算法的关键在于消除这种易被感知的“线状纹理”。

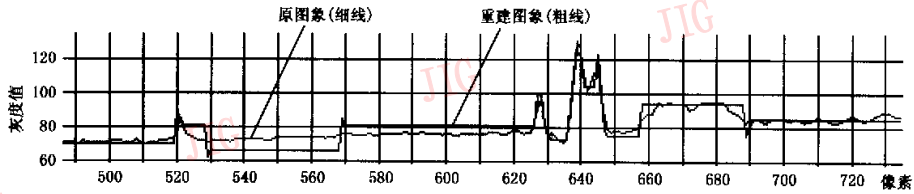
本文提出一种针对游程编码像素的分段修正编码方法,即以少量的比特为代价,使重建图象像素值更逼近原图,并对重建像素施以平滑滤波,以达到消除失真及改善目视效果的目的。

令 r 为游程长度,取 w 个像素为一编码单元(w 取值为 4~10,视误差界大小而定),若将游程范围

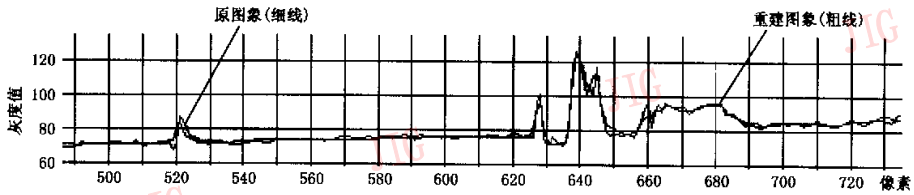


(a) ISO JPEG 测试多光谱遥感图像(Band1) (b) ±7 灰度级误差界下 JPEG-LS 算法重建图像 (c) ±7 灰度级误差界下改进算法重建图像

图 3 改进前后的 JPEG-LS 算法重建图像对比



(a) ±7 灰度级误差界下 JPEG-LS 算法重建图像某行像素灰度曲线波形比较



(b) ±7 灰度级误差界下改进算法重建图像某行像素灰度曲线波形比较

图 4 改进前后 JPEG-LS 算法重建图像像素灰度对比

内的像素分割为 $\lceil \frac{r}{w} \rceil$ 个编码单元, 则第 n 个编码单元内像素灰度均值为

$$\bar{x}_n = \left[\frac{1}{w} \sum_{j=nw}^{(n+1)w-1} x_j \right] \text{ (编码单元内原图像像素灰度均值)} \quad (3)$$

$$\bar{x}'_n = \left[\frac{1}{w} \sum_{j=nw}^{(n+1)w-1} x'_j \right] \text{ (编码单元内重建图像像素灰度均值)} \quad (4)$$

式中, x_j, x'_j 分别代表游程编码区域内原图像和重建图像第 j 个像素值。

令

$$\bar{e}_n = \bar{x}_n - \bar{x}'_n \quad (5)$$

\bar{e}_n 为编码单元内像素灰度均值误差, 重建图像时, 可根据最大允许误差 E_{\max} 设置重建图像像素灰度调节门限 T 及调节值 M 。

通过对 \bar{e}_n 的统计分析, 当 $T = \left\lceil \frac{E_{\max}}{4} \right\rceil$,

$M = 2T + 1$ 时, 可获得平均意义上较好的调节效果。具体的编译码方法如下:

编码时: 当 $|\bar{e}_n| \geq T$ 时, 输出比特“1”及 \bar{e}_n 的符号 S ; 否则, 输出比特“0”。

译码时: 当收到“1”时, 再取后一比特用于设置符号 S , 且相应编码单元的所有像素都加上 $S \times M$; 收到“0”时, 则不作调节。

对当前重建像素 $x'_{i,j}$:

定义: 一阶梯度

$$\nabla^{(1)} x'_j = \max(|x'_j - x'_{j-1}|, |x'_{j+1} - x'_j|) \quad (6)$$

二阶梯度

$$\nabla^{(2)} x'_j = \max(|x'_j - x'_{j-2}|, |x'_{j+2} - x'_j|) \quad (7)$$

由一阶梯度决定是否对像素进行平滑处理, 当

$\nabla^{(1)} x'_j \leq \frac{2}{3} E_{\max}$ 时, 则认为该像素是可平滑的, 需进

行平滑滤波,否则不处理。

由二阶梯度决定选用何种平滑滤波系数:当 $\nabla^{(2)} x'_{i,j} \leq \frac{2}{3} E_{max}$ 时,则选用 (1/6, 1/6, 1/3, 1/6, 1/6), 否则选用 (1/4, 1/2, 1/4)。

误差修正及平滑滤波处理在平均意义上虽可使重建图像更接近于原图,但也会造成少量像素误差超出界限,不过由于这类像素很少,因此可在每行编码结束时,对误差超出范围的像素,利用 Golomb-Rice Coding 技术^[5],以少量比特对大误差的位置和符号进行编码,即可控制单像素的误差界。

上述附加编码,虽在一定程度上可改善重建图像的视觉效果,并可提高 PSNR 值,但由于编码是附加的,其压缩倍率会下降,因此为获得较高压缩性能,还要针对遥感图像的特点作进一步的改进。

遥感图像具有多细节、低信噪比的特点,而这一因素则会对 JPEG-LS 算法造成如下两方面的影响:

(1) 由于像素灰度值的波动,会使一些平坦区域不能进入到游程编码方式。

(2) 像素灰度值波动会造成长游程被中断,并将影响编码效率。

由于有前述大误差纠正措施,因此可对式(1)及式(2)中的门限值 E_{max} 作适当放大,经大量的统计分析及压缩试验,可对门限值作如下放大处理:

$$\text{游程编码入口门限为: } E_{in} = 1 \frac{1}{3} E_{max}.$$

$$\text{游程编码检测门限为: } E_{Test} = 1 \frac{1}{2} E_{max}.$$

当最大允许误差 E_{max} 增大时,进入游程编码方式的像素在 E_{max} 范围内存在一定程度上的缓慢变化,为了适应这种“缓变趋势”,可对游程检测方式作一定的改动。实际上,式(2)中给出的检测方式是一种水平方向上的平坦检测,广义上说,只要连续的预测误差为零,就可用游程方式进行编码。经过大量的试验,本文对游程检测方式作如下改进:

令: $D_v = \left| \frac{x'_{i,j-1} - x'_{i-1,j-1} + x'_{i-1,j} - x'_{i-2,j}}{2} \right|$, $D_h = \left| \frac{x'_{i,j-1} - x'_{i,j-2} + x'_{i-1,j} - x'_{i-1,j-1}}{2} \right|$ 为当前像素 $x_{i,j}$ 垂直和水平方向上的平均梯度上下文,对当前像素作如下预测

$$\hat{x}_{i,j} = \left[\frac{x'_{i,j-1} \times (D_h + 1) + x'_{i-1,j} \times (D_v + 1)}{D_h + D_v + 2} \right] \quad (8)$$

规定游程检测条件为

$$|x_{i,j} - \hat{x}_{i,j}| \leq E_{Test} \quad (9)$$

这些改进在 E_{max} 取值较大时,由于大大提高了平均游程长度,且拓宽了游程编码区域,因此这不仅降低了算法的输出码率,还使基于这些像素的修正编码取得了更好的改善效果。以上改进虽也引入了少量的越界误差,从而增加了大误差纠正所需的比特,但总体上,压缩性能在 E_{max} 取值较大时,有明显提高。

3 实验结果

为了测试算法改进前后的压缩性能,本文从 ISO JPEG 标准测试图像集中选择了一组图像进行压缩试验,并重点对其中的一幅多光谱遥感图像 (Band1) 进行了改进前后 JPEG-LS 算法的压缩试验比较, JPEG-LS 算法编解码程序是按建议文本 CD 14495 实现的。

图 3 为用改进前后 JPEG-LS 算法重建的一幅 ISO JPEG 标准测试图像 (多光谱遥感图像),由图 3 (c) 可见,用改进算法重建的图像,其目视效果有明显改善,如海面平坦区域的目视失真 (水平线状纹理) 基本消除。

图 4 分别给出了用改进算法重建的图像某行像素值变化曲线与原图像素值曲线的比较,由图 4 可见,用改进后算法的重建图像像素灰度值明显逼近于原图。

图 5 给出算法改进前后对 ISO JPEG 标准测试多光谱遥感图像 (Band1) 的压缩性能曲线。由图 5 可见,输出码率越低,性能改善越明显。

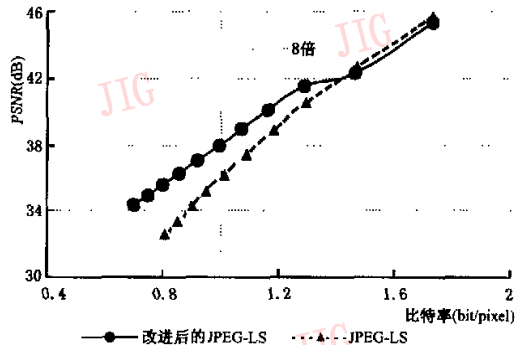


图 5 针对 JPEG 测试多光谱遥感 (Band1) 算法改进前后的压缩性能曲线

表 1 列出 ± 7 灰度级误差界下,针对一组 ISO JPEG 标准测试图像压缩性能的比较,图 6 则给出了针对该组图像的平均压缩性能曲线。由图 6 可见,

表1 在±7灰度级误差界下,针对部分JPEG测试图象算法改进前后的压缩性能比较

测试图象	JPEG-LS算法		改进算法	
	压缩比	PSNR	压缩比	PSNR
Boats	8.055 63	36.452 3	8.755 83	37.845 3
Balloon	12.142 3	36.527 0	19.640 08	39.791 3
barbl	5.376 27	35.925 8	5.894 68	36.801 5
Gold	6.165 83	35.844 4	6.499 91	36.735 2
Hotel	6.897 17	36.202 1	7.558 09	37.313 5
平均	7.140 96	36.181 8	8.045 75	37.566 0

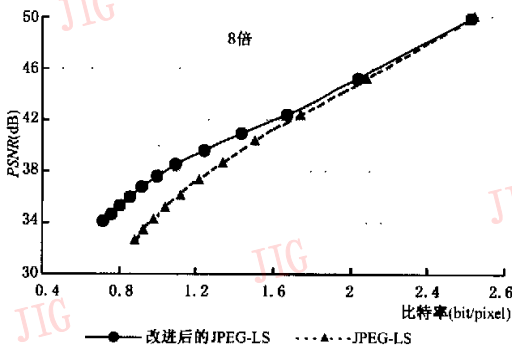


图6 针对普通测试图象,算法改进前后的压缩性能曲线

随着允许的误差界增大,改进算法针对普通测试图象也有明显的性能改善。

4 结论

JPEG-LS算法主要是针对无损压缩而设计的,也兼顾了低倍率 L_c 约束的准无损压缩,但在进行较高倍率压缩时,其重建图象的目视效果明显劣化。这一特点使得该算法只适合于珍贵图象(如遥感及医学图象)的存档、传输等对压缩比要求不高的应用领域。改进后的算法由于不仅保持了原算法在无损及低倍率压缩时的优良性能,而且改善了较高压缩比下重建图象的质量及目视效果,还保持了原算法单像素误差界可控的优点,因而使得改进后的算法适用于高达8倍的 L_c 约束下的准无损压缩。改进后的算法虽然在游程编码部分增加了一些运算量,但由于增加的部分易于硬件实现,又基本保持了算法复杂度低的优点,所以,改进后的算法能适合于较高倍率的星载遥感图象压缩。

参考文献

- 1 Zhang Ning, Zhang Yu-jin, Liu Qingdi *et al.* Method for estimating lossless image compression bound [J]. Electronics Letters, 1999, 35(22):1931~1932.
- 2 Wu Xiao-lin, Nasir Memon. Context-based lossless interband compression-extending CALIC[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(6):994~1001.
- 3 Weinberger M J, Seroussi G, Sapiro G. LOCO-I: A low complexity, context-based, lossless image compression algorithm [A]. In: Proc. 1996 Data Compression Conference [C]. Snowbird, Utah, USA, 1996:140~149.
- 4 ISO/IEC JTC1/SC29/WG1. Lossless and near-lossless compression of continuous tone still images [S]. (CD 14495 JPEG LS). ISO Working Document ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N522, 1997.
- 5 Golomb S W. Run-length encoding. IEEE Transactions Information Theory, 1966, IT12:399~401.

吴美建 1964年生,副研究员,1986

年毕业于解放军信息大学,2000年攻读清华大学电子与通信工程专业工程硕士学位,主要研究兴趣是信号分析与处理,数据压缩等。



林行刚 教授,博士生导师,1970年毕

业于清华大学无线电电子学系,1983年、1986年先后获日本京都大学信息工程系工学硕士和博士学位。研究兴趣包括无线多媒体技术、数字图象处理与分析、视觉信息压缩编码及应用、多媒体人机界面、网络电子地图和地理信息系统等。

