

基于 DCT 的残差自适应编码压缩

周孝宽 谢 斌

(北京航空航天大学 北京 100083)

摘 要 本文提出了图象残差压缩的概念,建立了在 JPEG 压缩算法基础上改进的、基于 DCT 的残差自适应编码压缩方法。该方法与 JPEG 压缩算法相比,压缩速度没有显著差别,但恢复图象信噪比可提高约 1 分贝,对局域相关性较弱的遥感类图象,恢复图象精度的提高尤为明显。

关键词 图象压缩,残差,自适应量化,等误差

1 引言

1991 年制订的静图数据压缩标准 JPEG^[1]是一种反映了已有图象数据压缩研究成果的实用图象数据压缩方法,这种基于离散余弦变换(DCT)的压缩算法属有失真数据压缩方法。由于 DCT 是一种借助局域相关去冗余的数据压缩方法,因此它对局域相关性较强的图象(如人像)压缩效果较好,而对局域相关性较弱的图象(如遥感图象)压缩效果则较差。本文从提高恢复图象精度与改善压缩方法对遥感图象的适用性入手,在分析了 JPEG 压缩算法特点的基础上,提出了残差压缩的概念,建立了基于 DCT 的残差自适应编码压缩方法。

2 JPEG 压缩算法的特点

JPEG 压缩算法是一种按块压缩算法,对一幅典型图象(lena)的压缩结果逐块统计分析其恢复误差(方差)后,可得到不同纹理特征的块的方差散布(表 1)。

由表 1 可见,对纹理细节少(即较平滑,局域相关性大)的块,恢复误差小;对纹理结构复杂(即局部细节丰富,局域相关性小)的块,恢复误差大。即

表 1 不同纹理特征的块的方差散布
Table 1 Variance distribution of different texture blocks

K	ERR	K	ERR	K	ERR	K	ERR	K	ERR	K	ERR
4	260	8	466	15	905	24	1525	37	2107	45	3070
6	388	11	700	18	1000	32	2032	43	2490	52	4425

K 为描述纹理特征的测度,K 越大,块的纹理结构越复杂,反之,块越平缓。ERR 为块的恢复方差。数据来源于 Lena. IMG(512×512×8)

JPEG 压缩算法对纹理特征不同的块,恢复误差(精度)相差甚远,纹理细节丰富的块有较大的失真。

从上述统计分析结果可得到一点启示,即恢复图象的恢复误差,主要是由少数纹理细节丰富的块有较大失真所造成的。因此,要降低全图的恢复误差,提高恢复图象的精度,在压缩比一定的条件下,降低少数误差大的块的方差是关键所在。基于这一分析,形成了优化图象数据压缩方法的等误差设计的构想,即若某一压缩方法能使恢复图象的各等面积子块的方差接近相等,则该压缩方法已完成了优化。

对 JPEG 压缩算法来说,如何缩小恢复图象全图各子块方差的差距,实现等误差原则呢?经过多种可能改进途径的试验与比较,我们认为,基于

DCT 的残差自适应量化压缩法,是对 JPEG 压缩算法实现等误差原则的最佳改进方案。

3 残差自适应量化压缩法

将残差图定义为:

残差图 = 原图象 - 经 JPEG 压缩后的恢复图象 + 128

上式中加上 128 的偏移量是为了避免残差图中出现负值。若把残差图的压缩编码与原图象的 JPEG 压缩编码一起保存下来,则当恢复图象时,不仅恢复出经 JPEG 压缩后的图象,而且恢复出残差图,并把它加到了恢复图象上,这样就得到质量更高的恢复图象。极端来看,若残差图采用的是无损压缩,则上述方法得到的最终恢复图象将和原图是一样的,即恢复图象将是无失真的。但若对残差图作无损压缩,压缩后的残差图数据量太大,只能实现特定的低倍压缩,缺乏普遍意义。为此必须对残差图选取一种快速、简便、精度高且有普遍适用性的有失真压缩方法。

从残差图的定义可以看出,残差图是原图象去除相关性较强部分后的残留部分,也就是说,残差图是一幅相关性极差的图象。有鉴于此,各种基于相关原理的图象压缩方法,对残差图都不会有好的压缩效果。保留残差图信息的有效压缩方法,只可能是按象素减位量化压缩,即用减少残差图中表达每个象素值所用位数的方法,来达到压缩残差图数据量的效果。为使图象各子块接近等误差,各子块将根据其统计特征的不同,采用不同的量化位数,从而构成了基于 DCT 的残差自适应量化压缩法 (Residual Adaptive Encode Based on DCT, RAE-DCT)。

3.1 残差图的统计特征

对一幅 512×512 的典型图象 lena 的残差图,按 8×8 的块逐块统计其灰度平均值与方差后得到表 2 与表 3 的结果。

表 2 残差图的灰度平均值散布表

Table 2 Block average grey level distributon of the residual image

灰度平均值	125	126	127	128	129	130	131
此值的子图个数	0	0	50	3973	73	0	0
所占百分比(%)	0	0	1.23	96.9	1.78	0	0

表 3 残差图的方差散布表

Table 3 Block variance distribution of the residual image

方差范围	残差块的个数	方差范围	残差块的个数
0—2	634	5—8	419
2—5	3031	8—10	12

由表 2 可见 97% 的块的平均值是 128,余下 3% 的块的平均值与 128 也仅有 ± 1 的误差,因此可近似认为残差图的灰度平均值 $M=128$ 。由表 3 可以看出,残差图的方差散布可归纳为 3 个区间,即小方差区,如表 3 中方差为 0—2 段;中等方差区,如表 3 中方差为 2—5 段,全图绝大多数块的方差落在此区内;大方差区,即表 3 中方差大于 5 的所有块,落在这个区内的块数 $< 15\%$,但对全图误差影响大。上述残差图灰度平均值近似为常值及方差散布可归纳为 3 类的统计特征,为残差自适应量化器设计提供了依据。

3.2 残差自适应量化器的设计与实现

3.2.1 残差自适应量化器的设计

根据上述残差图的统计结果,按各块等误差设计的原则,对 3 类方差不同的块,可按量化位数与方差成正比的原则进行自适应量化。为尽可能减少残差图量化后的数据量,对 3 类方差不同的残差图块量化位数选定为 0 位,1 位与 2 位 3 类。这就构成了以方差为分类准则的、非等长自适应量化器。在这一自适应量化器方案中,方差分类的阈值,将随 JPEG 压缩算法中调整压缩倍数的 Q 值成比例地变化,以便实现不同倍数的压缩。由于量化位数与各残差块的方差成正比,因而各残差块量化后的误差比较均匀,从而实现了等误差的设计原则。

3.2.2 实现

对每一残差块来说,根据该块方差选定量化位数后,必须恰当地选定与该块统计特征相匹配的具体量化值,才能在每一残差块量化误差最小的基础上,确保整个残差图量化误差最小。针对 3 类量化器具体的量化值的确定方法是:

(1) 0 位量化器 对这类残差块,每个象素只占 0 位,即对这类块不保留任何附加信息。

(2) 1 位量化器 对这类残差块,每个象素量化成 1 位,编码时若象素灰度值小于平均值 M ,则该象素编码为 0,否则为 1。解码时参照块截断编码

(BTC)^[2],即可根据该块的平均值 M , 方差 S 及每个象素所占的 1 位码值,按下式恢复出相应的残差图值,即:

$$V_a = M - S \sqrt{\frac{q}{64-q}}$$

$$V_b = M + S \sqrt{\frac{64-q}{q}}$$

式中, q 为 8×8 的块中编码为 0 的象素数; V_a 对应于编码为 0 的象素的解码值; V_b 为对应于编码为 1 的象素的解码值。

(3) 2 位量化器 对这类残差块,每个象素量化为 2 位,编码时根据象素灰度值落在 a, b, c, d 四个区间的那一部分而分别赋值 0, 1, 2, 3。若令 q 为 8×8 的块中灰度值小于平均值 M 的象素个数,及 $q_1 = \sqrt{n/(64-n)}$, $q_2 = \sqrt{(64-n)/n}$, 则,

$$a = [M - q_1 \times S, M)$$

$$b = [M, M + q_2 \times S)$$

$$c = [0, M - q_1 \times S)$$

$$d = [M + q_2 \times S, 255]$$

解码时,编码值 0, 1, 2, 3 将分别解码为灰度值 V_a, V_b, V_c, V_d , 即:

$$V_a = M - (S \times q_1 \times 0.5)$$

$$V_b = M + (S \times q_2 \times 0.5)$$

$$V_c = M - (S \times q_1 \times 1.5)$$

$$V_d = M + (S \times q_2 \times 1.5)$$

4 压缩结果及分析

本文对 JPEG 压缩算法作了改进,加入了残差自适应压缩,构成了基于 DCT 的残差自适应压缩法。该方法得到了优于 JPEG 的压缩效果。为说明这

象,分别按 8×8 的块统计恢复图象与原图象的方差,结果如表 4 所示。

由表 4 可见,在同样压缩倍数下,本文所提出的方法不仅总方差比 JPEG 压缩算法降低了约 10%,而且使方差大于 1600 的块几乎消除光了,也就是说,本文所述方法使恢复图象的总体与局域精度都提高了。

表 4 8 倍的 Lena. IMG 的方差散布表

Table 4 Block variance distribution of Lena. IMG under compression ratio 8

方差范围	JPEG 压缩算法			本压缩模型		
	块数	方差和	平均方差	块数	方差和	平均方差
0-100	43	3732	86.8	2	184	92
100-200	271	43513	160.6	100	16655	166.6
200-400	1419	419603	295.7	879	270468	316.8
400-800	1209	675709	558.9	2069	1197073	578.6
800-1600	770	869712	1129.5	1045	1093494	1046.4
1600-3200	371	779607	2101.6	1	2022	2022
3200-6400	13	49240	3787.7	0	0	0

JPEG 的总方差=2841196 RAE-DCT 的总方差=2587896

4.2 信噪比与速度

表 5 给出了在不同压缩倍数下 JPEG 压缩算法与本文所述方法的恢复图象峰值信噪比的比较。

表 5 Lena. IMG 的信噪比较

Table 5 Comparison of PSNR of Lena. IMG

编码方法	压缩倍数 CR	信噪比 SNR(dB)
JPEG	4.104	41.6835
RAE-DCT	4.106	42.9320
JPEG	6.367	39.1018
RAE-DCT	6.322	39.9670
JPEG	8.332	37.8152
RAE-DCT	8.223	38.2560
JPEG	10.717	36.6554
RAE-DCT	10.68	36.8910

由表 5 可见,在 JPEG 算法有实用价值的压缩比范围内,本文所述方法恢复图象精度比 JPEG 压缩算法高 0.2—1.4dB。在 486 D×2/50 微机系统

本文所述方法的另一个重要特点是对相关性较弱(纹理细节较丰富或局域随机性较强)的图象,如遥感图象,其恢复图象的信噪比比 JPEG 压缩算法所得结果提高幅度更大一些,约提高 0.5—1.7dB。也就是说,本文所述方法具有更强的局部细节保真能力,更适合于要求局部细节高保真的图象压缩应用领域。

参考文献

[1]G. K. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard", Comm of the ACM, Volume 34, Number 4 (1991). A revised version has been submitted to IEEE Transactions on Consumer Elec-

tronics.

[2]E. J. Delp and O. R. Mitchell, "Image Compression Using Block Truncation Coding", IEEE Trans. 1979 Vol. Com - 27, No. 9, p1335-1342.



周孝宽 北京航空航天大学教授。1958年毕业于北京航空学院。60年代从事飞行器设计的教学与研究工作。1979—1981年作为访问学者在美国南加州大学从事计算机应用研究工作。1984年回本校创建图象处理中心并任主任。重点研究各类图象的压缩编码技术、分形几何在图象领域中的应用及医用图象的处理与识别技术等。兼北京宇航学会和中国图象图形学会常务理事,中国计算机用户协会图象分会理事。

Image Residual Adaptive Encoding Based on DCT

Zhou Xiaokuan Xie Bin

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract A new concept about secondary compression of residual image has been presented. On the basis of the concept a adaptive compression model of secondary compression of residual image has been set up. The speed of this model is not only as fast as JPEG's, but this model increases the SNR of restored image. In the applicable compression range of JPEG's, the Signal Noise Ratio (SNR) of our model is about 0.2-1.4dB higher than JPEG's, especially for remote sensing images.

Keywords Image compression, Residual image, Adaptive quantization, Error equalization

注意提高论文语言文字表达能力

论文的学术成就固然是人类智慧的结晶,但描述学术思想的语言文字表达能力也是人类智慧的集成。年轻的科学家们要努力学好祖国的语言文字。中国文化,博大精深,不可轻视。希望22个字一行的句

子中频频出现6个“的”的情形,能愈来愈少见。要讲究精练,融通,灵活和推敲;马虎,随便,轻视中文是治学的大敌。有关导师应该加强指导。另外,有的英文摘要甚为不通,一并提请注意。(编后随笔)