

利用 JPEG LS 高效无损压缩气象卫星云图数据*

曹 青

(南京电信局, 南京 210008)

吴乐南

(东南大学无线电工程系, 南京 210096)

气象卫星数字遥感云图数据量庞大, 信道传输和存储均要付出很高的代价, 对其进行数据压缩不仅十分必要, 而且可产生实际的经济效益。卫星云图作为资料保存, 必然要求压缩是无损的, 许多气象业务也不希望在压缩过程中有任何信息丢失, 在这种情况下只能采用完全可逆的信息保持型编码。然而, 从信息论中的率失真理论可知, 信息保持型编码的压缩能力是有限的。如果压缩与还原过程是在通用计算机上用软件实现的, 对处理速度也会有一定要求, 进一步限制了算法的复杂度。因此, 卫星云图数据的高效无损压缩, 在理论上和技术上都有一定难度。

卫星云图数据常以二维数组表示, 如果对数据中的已知信息(如云图的二维相关性、尺寸、灰度级数等)不予利用, 仅把它当作普通计算机数据文件, 利用通用文件压缩方法(如 Huffman 编码或基于字典的编码等), 就不能有效地去除其中的多种冗余度, 压缩比 $CR \approx 2$, 实际使用仍嫌不足。把云图作为特殊的计算机文件——数字图像来看待, 采用熵保持型的图像压缩方法来处理, 可以取得较好的效果。人们曾研究过多种图像数据的高效无损压缩方法, 如位平面编码、多分辨率表示以及固定二维线性预测器加反射型 Huffman 编码器等。本文研究的利用连续色调静止图像无损压缩新标准 JPEG LS 和帧间相关性高效无损压缩云图的方法, 压缩比较上述其它方法为高。

1 静止图像压缩的新标准 JPEG LS

JPEG LS 是静止图像无损/近无损编码的新标准, 1994 年开始征集算法提案, 并于 1998 年 2 月作为 ITU-T 建议 T.87(草案) 国际标准 ISO/IEC 14495-1 正式公布, 将用于取代原 JPEG 的连续色调静止图像无损压缩模式。图像无损编码的目的是用尽量少的位数来表示给定图像而不丢失任何信息。JPEG LS 采用差分脉冲编码调制 (DPCM) 方法, 分两步实现: 首先, 利用空间

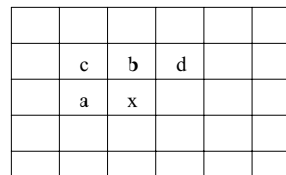


图 1 用于上下文建模和预测的因果模板

域的线性预测来尽量去除相邻像素间的相关性。通常 DPCM 系统采用的邻域函数如图 1 所示。通过上下文的选择和误差反馈进一步降低了误差图像的熵。在编码当前像素 x 时, JPEG LS 用 a 、 b 、 c 、 d 四个因果性邻近像素来预测 x , 解码过程和编码过程使用相同的

* 2000-08-15 收到, 2000-09-17 收到修改稿。

预测器。其次,对预测误差进行 Golomb 编码,以利用误差图像在概率分布上的冗余度。

2 JPEG-LS 压缩单色云图

卫星云图不同于人像等电视图像,大部分区域比较平缓。从理论上说,8 位云图的每个像素可取 0 ~ 255 中的任一值,但实际上其取值通常局限在某一范围内。就具体的一幅云图而言,像素值不可能全部取到 256 级灰度。统计表明,一般云图所取的灰度不超过 150 级,帧内相关性很强。吴乐南等^[1]曾采用固定的二维线性预测器加反射型 Huffman 编码器压缩测试云图,压缩比较其它一些方法为高(以下简称吴法)。该方法采用了图 2 中的模型来研究云图帧内相关性, S_0 为当前像素, $S_1 \sim S_7$ 为其邻近像素。通过计算预测误差的熵,确定 S_1, S_2, S_3, S_4 是与 S_0 相关性较强的像素,利用它们对 S_0 进行预测的方程可表示为 $S_0 = a_1 S_1 + a_2 S_2 + a_3 S_3 + a_4 S_4$ 。

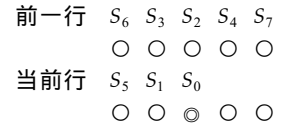


图 2 像素 S_0 邻近像素

比较图 1 和图 2,不难发现 JPEG-LS 因果模板中的 x, a, b, c, d 和图 2 中的 S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 正好一一对应。可见,用 JPEG-LS 压缩卫星云图可很好地利用帧内相关性。此外, JPEG-LS 还采用了局部梯度、量化、预测、误差编码、游程方式、Golomb 编码等一系列方法,进一步降低了编码的冗余度,提高了压缩比(参见表 1)。

表 1 测试云图压缩效果的比较

| 源 图 像 | 吴氏法的压缩比 | JPEG-LS 的压缩比 |
|--------------------|-----------|--------------|
| GMS 卫星云图(6 bits) | 2.0901 :1 | 2.2433 :1 |
| GMS 卫星云图(8 bits) | 1.6423 :1 | 1.8099 :1 |
| NOAA 卫星云图(10 bits) | 1.4357 :1 | 1.4378 :1 |

3 利用 JPEG-LS 和帧间相关性压缩卫星云图

JPEG-LS 支持多分量图像。通常,图像的分量是指彩色分量(如 R、G、B 等)。实验证实,若彩色图像各分量之间存在较大的相关性, JPEG-LS 压缩彩色图像的效果要优于分别压缩各分量后的平均效果(参见表 2)

表 2 彩色分量压缩效果

| 源 图 像 | 源图像大小(bytes) | 压缩图像大小(bytes) | 压缩比 |
|--------------|--------------|---------------|-----------|
| 实验图像的 3 分量平均 | 196608 | 102276 | 1.9223 :1 |
| 实验图像 | 196608 | 100578 | 1.9548 :1 |

分析多时次 GMS 卫星云图 C、D 两个波段各 24 幅图像(512 × 502 × 8 bits),不难发现,虽然云图分布存在一定的随机性,但时间间隔为一小时的相邻两帧之间,仍然存在很大相关性。我们考虑把时间参数作为图像分量,把单色序列云图看作是多分量图像,利用 JPEG-LS 对多时次云图构成的多分量图像进行压缩,压缩比应较单色图像的平均压缩比更高。实验结果证实了这一推论(部分实验结果见表 3)。时间分量数目并非越多越好,一般选择 6 ~ 8。两波段中,C 波段图像的帧内相关性较 D 波段好,因而压缩比较 D 波段更高一些。

表 3 时间分量压缩效果 (GMS 云图)

| 源 图 像 | 源图像大小(bytes) | 压缩图像大小(bytes) | 压缩比 |
|-----------------------------|---------------|----------------|----------|
| 06:00 ~ 11:00 平均(C 波段) | 1542144 | 508659 | 3.0318:1 |
| 06:00 ~ 11:00,6 分量图像(C 波段) | 1542144 | 507090 | 3.0412:1 |
| 08:00 ~ 15:00 平均(C 波段) | 2056192 | 684650 | 3.0033:1 |
| 08:00 ~ 15:00,8 分量图像(C 波段) | 2056192 | 682628 | 3.0122:1 |
| 00:00 ~ 05:00 平均(D 波段) | 1542144 | 642700 | 2.3995:1 |
| 00:00 ~ 05:00,6 分量图像(D 波段) | 1542144 | 641594 | 2.4036:1 |

4 结论与讨论

利用 JPEG-LS 压缩卫星云图,压缩比较为理想,特别是像素精度在 8 位以下的云图,与吴氏法^[1]相比分别提高了 7.33%和 10.21%。利用多时次卫星云图的帧间相关性,以时间作为分量, JPEG-LS 的压缩效率较单幅云图又有进一步提高。各分量图像的帧间相关性和各分量图像本身的帧内相关性决定了 JPEG-LS 的压缩效率,不论是彩色分量、波段分量还是时间分量,相关性大则压缩比较高,相关性小则压缩比较低。

在数字传输系统中,数据压缩属于信源编码部分,主要解决有效性问题,即通过对信源的压缩、扰乱等一系列处理,力求用最少的数码传递最大的信息量。可靠性问题主要由信道编码解决,以使编码后的信号在传输过程中不出错或少出错,即使出了错也能进行检错和纠错。对于 JPEG-LS 无损压缩算法而言,压缩数据由两种类型构成:一种是游程方式下的游程长度和游程中断值,另一种是常规方式下映射后的量化误差值。误码对重构像素的影响,与误码在压缩数据中的位置有关。若误码出现在压缩数据有效位的低端,则可能不对重构数据产生显著影响;反之,则可能影响多个重构像素。实验结果也证实了这一点。因为误码的随机性,就对数字传输系统中信道编码的检错和纠错能力提出了较高的要求。

参 考 文 献

- 1 吴乐南,范天锡,王大昌,等.气象卫星云图数据的高效无损压缩.应用气象学报,1996,7(1):103~107.