

面向遥感影像的 JPEG2000 优化压缩算法

卢 亮¹, 吴善明¹, 邓术军^{2,3}

(1. 信息工程大学理学院, 郑州 450001; 2. 信息工程大学测绘学院, 郑州 450052;

3. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)

摘 要: 在常规的 JPEG2000 压缩框架下, 提出一种面向遥感影像的 JPEG2000 优化压缩算法, 对遥感图像整体处理传输耗时进行分段处理, 在 EBCOT 编码中合并编码通道扫描过程及编码过程, 实现对遥感图像编/解码过程用时的优化, 在小波变换后清除高频子带小波系数中非重要的背景信息, 并缩减相对重要信息的处理过程, 从而缩短了与压缩比和图像大小密切相关的传输时间。实验结果表明, 该算法在几乎不影响遥感图像质量的情况下可以显著提高遥感图像整体压缩、传输和重构的效率, 缩短其处理耗时。

关键词: JPEG2000 压缩标准; 遥感图像处理耗时; EBCOT 编码

Remote Sensing Image-oriented JPEG2000 Optimized Compression Algorithm

LU Liang¹, WU Shan-ming¹, DENG Shu-jun^{2,3}

(1. Institute of Science, Information Engineering University, Zhengzhou 450001;

2. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052;

3. Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871)

【Abstract】 Based on the frame of conventional JPEG2000 compression, a segment treatment compression algorithm is put forward to solve the problem of time-consuming processing of remote sensing image. In the coding channel, the scanning stage is combined with the coding stage, so the time of the coding and deciphering process is reduced. After wavelet transformations, unimportant background information of the wavelet coefficient in high frequency sub-bands is eliminated and the handling process of important information is shortened, so the transmission time which has much correlation about compression ratios and data volume can be reduced significantly. Experimental results show the time of the remote sensing image compression, transmission and reconstruction of this algorithm can be shortened without image quality reduced.

【Key words】 JPEG2000 compression standard; remote sensing image processing time; EBCOT coding

1 概述

随着遥感技术的快速发展, 遥感图像的分辨率不断提高, 对应的数据量正呈几何级数增长, 如何在网络环境下高效地传输与应用大数据量的遥感图像是学界持续关注的问题。研究合适的压缩算法, 将遥感图像进行高效的压缩后再传输, 可以有效地缓解遥感图像数据量大与网络带宽有限的矛盾, 提高遥感图像的网络传输与应用效率。笔者在采用 JPEG2000 进行遥感图像的压缩中发现, 针对遥感图像而言, 常规的 JPEG2000 压缩方法在压缩效率与压缩比方面均有提升空间, 具体表现为遥感图像高频子带相关性弱和编码过程扫描周期长。因此, 本文针对 JPEG2000 整体压缩处理过程采取了对高频子带中的小波系数分带处理, 同时对 EBCOT 编/解码中编码通道的扫描过程和编码过程并行处理的优化方案, 实现了利用 JPEG2000 对遥感图像整体压缩、传输和重构处理过程时间上的优化, 提高遥感图像的网络传输与应用效率。

2 JPEG2000 编/解码流程

JPEG2000 基本编/解码流程如图 1 所示, 其中的关键环节有:

(1) 预处理

主要是将图像分成大小相等、互不重叠的矩形区域, 即图像片, 然后对每个图像片进行独立的编解码处理。其目的

是为了降低压缩过程中所需要的内存资源。

(2) 分量变换

指对具有多个分量的图像先经过某种变换来降低各分量之间的相关性。

(3) 离散小波变换(DWT)

针对每个图像片的每个分量进行离散小波变换, 就是从空间域到频率域的变换, 变换的目的是增加数据的冗余度, 大幅提高压缩效率。离散小波变换可以是不可逆的, 也可以是可逆的。不可逆小波变换是有损编码, 默认采用 Daubechies9/7 滤波器; 可逆变换是有损编码, 默认采用 LeGal5/3 滤波器。

(4) 量化

将小波系数除以量化步长, 得到整数结果, 这样可以进一步提高图像压缩效率。

(5) 熵编码

JPEG2000 采用的熵编码是嵌入式优化截断块编码

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目; 国家部委重点课题基金资助项目

作者简介: 卢 亮(1982-), 男, 硕士, 主研方向: 图像处理; 吴善明, 博士; 邓术军, 博士后

收稿日期: 2009-11-02 **E-mail:** yingerwake@tom.com

(Embedded Block Coding with Optimized Truncation, EBCOT), EBCOT 编码器主要由两层组成(Tier1 和 Tier2), 其中, Tier1 是由内嵌比特平面编码和自适应算术编码器 MQ 组成, 主要是针对小波系数进行基于上下文的算术编码; Tier2 是由分层组织构成, 主要按照失真最优的原则在每个独立的码块码流中截取合适的位流, 组成最终的图像压缩码流。

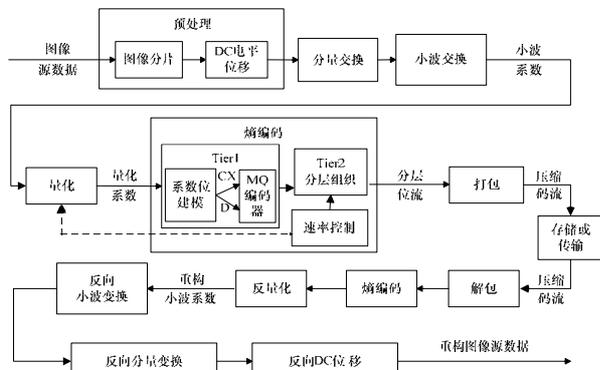


图1 JPEG2000 编/解码流程

JPEG2000 的解码器是编码器的逆过程。提高编码的效率意味着也提高了解码的效率。

3 完整的遥感图像压缩传输耗时分析

在遥感图像的网络化应用中, 完整的压缩传输过程可分为 3 步: 图像压缩过程(或编码过程), 图像传输过程和图像重构过程(或解码过程)。

(1) 压缩过程负责将原始的遥感图像数据变换为压缩码流, 以减少数据量便于网络传输。

(2) 传输过程负责通过有线或无线网络将压缩码流从遥感图像服务器端传递到应用客户端。

(3) 重构过程负责在应用客户端将压缩码流还原为遥感图像数据。

完整的压缩传输耗时就等于压缩过程、传输过程和重构过程的耗时之和。其中, 传输时间 $T_{传}$ 由压缩码流的数据量和网络带宽决定, 而压缩码流的数据量又由源数据量和压缩比决定, 假设某幅遥感图像的源数据量为 S_0 , 所采用的压缩方法的压缩比为 C_R , 网络带宽为 B (该值由所采用网络的软硬件环境决定), 则:

$$T_{传} = \frac{S_0}{B} \times \frac{1}{C_R} \quad (1)$$

由式(1)知, 传输时间 $T_{传}$ 与压缩方法的压缩比 C_R 呈反比, 提高压缩比就可节省遥感图像的网络传输时间。

同时优化编/解码流程也可以缩短相应的遥感图像的压缩时间 $T_{传}$ 和重构时间 $T_{解}$ 。这就提高了遥感图像的网络传输与应用效率。

4 编码通道扫描合并技术及并行化处理

4.1 EBCOT 系数建模编码原理

系数建模就是将小波变换系数划分成 64×64 (EBCOT 模块的最大尺寸)或 32×32 的码块。

码块中所有属于同一深度的比特组成位平面, 位平面的最高平面存储各个小波系数的符号值, 由 MSB 平面至 LSB 平面依次排列, 编码时由 MSB 平面开始, 到 LSB 平面结束。

在每个位平面上, 按每 4 行一个条带的方式, 以 4 个量值为一列按照自左向右, 自上而下的顺序逐个对条带进行扫描, 形成上下文信息提供给算术编码。代码块内的扫描方式

如图 2 所示。

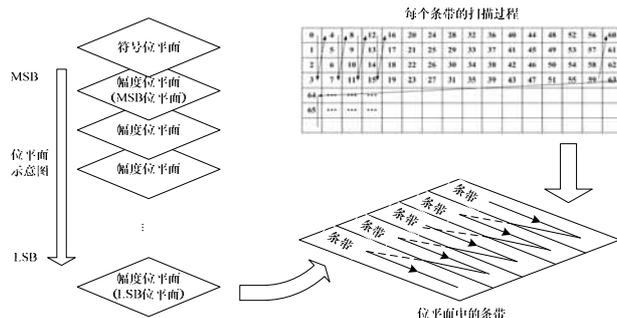


图2 系数位编码结构

在编码的过程中, 码块中的每个量值都有一个称为“重要性状态”的二进制状态变量 $\sigma[k]$ 。位平面上的每个量值根据其自身的重要性状态和上下文系数的重要性状态决定其在哪个通道中编码。在 JPEG2000 中, EBCOT 对多个位平面的编码必须串行进行, 而且每个位平面的编码需要 3 次扫描。这 3 次编码通道分别为重要性传播编码通道(significance propagation pass)、量值细化编码通道(magnitude refine pass)和清除编码通道(clean-up pass)。每个编码通道又可能包含零编码(ZC)、符号编码(SC)、量值细化(MR)和游程编码(RLC) 4 种编码原语。

JPEG2000 采用的二进制算术编码(MQ 编码)的基本原理是根据待压缩数据的概率对数据进行压缩编码。MQ 编码接收从位平面编码器生成的上下文 CX 和待压缩数据 D, 由 CX 查表得到 D 的概率估算值, 然后对 D 进行编码, 最后输出压缩后的压缩码流。

4.2 编码通道的扫描合并技术

笔者经过研究发现在整个 JPEG2000 编码过程中花费在 EBCOT 编码上的时间超过 50%, 而在 EBCOT 编码中, 大部分时间又被浪费在重复的位平面扫描中。在位平面扫描中, 每个量值被一个通道编码(另 2 个通道被跳过), 但它却要扫描 3 次(每个通道一次), 这样就浪费了 2/3 的扫描时间^[1]。采用通道扫描合并技术可以避免重复扫描, 有效地缩短 EBCOT 编码时间。

通道扫描合并技术就是将 3 个通道的扫描编码过程合并并在一次扫描中完成。扫描方式采用列扫描, 一列有 4 个量值, 其处理过程是: 在位平面上, 一次针对每个条带进行列扫描, 同时检测一列的 4 个量值, 根据其上下文和各自的状态位判断量值应该在哪个通道编码, 然后同时送入各自所属的通道进行编码, 实现 3 个通道同时处理, 最终生成上下文-量值对输出。由于每个位平面在上下文系数建模中被扫描的次数从 3 次减为 1 次。这样整个位平面的编码处理时间就可以减为原来的 1/3。

4.3 编码过程并行化处理技术

编码通道扫描合并技术提高了通道扫描的效率, 缩短了图像编码的时间。为了进一步提高编码速度和效率, 编码过程可以采用并行化处理技术, 即同时生成几个 CX-D 数据对, 并找到与之相适应的 MQ 编码速率, 这样可以最大限度地发挥 MQ 编码器的编码效率, 缩短编码时间。

在通常情况下, MQ 编码可以同时处理 2 个量值或者是 4 个量值^[2]。对于遥感图像而言, 同时处理 4 个量值时可以生成 1~10 个数据对, 大约有 50% 的数据对被 MQ 编码器立即编码; 而在处理 2 个量值时可以生成 1~6 个数据对, 大约有

