

基于蒙特卡罗方法的 JPEG2000 实时解压缩算法

兰新杰, 赵保军

(北京理工大学 信息与电子学院, 北京 100081)

摘要: 实时解压缩算法需要解决的两个主要问题是快速纠正信道噪声导致的数据错误和实时处理大量的压缩数据。针对这两个问题, 在现有 JPEG2000 解压缩算法的基础上, 提出一种实时解压缩算法。该算法基于蒙特卡罗方法和 JPEG2000 压缩数据结构特点引入快速数据纠错算法, 提高了算法的容错能力; 同时优化了现有解压缩算法的结构, 提高了解压缩算法的速度。实验结果表明, 实时解压缩算法与现有的 JPEG2000 解压缩算法相比速度提高了 30%, 满足了实时解压缩的要求, 并且保证了图像质量。

关键词: JPEG2000; 解压缩; 数据纠错; 蒙特卡罗方法

中图分类号: TP33

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)07-0031-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.007

JPEG2000 Real-time Decompression Algorithm Based on Monte-Carlo Method

LAN Xin-jie, ZHAO Bao-jun

(School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology,
Beijing 100081, China)

Abstract: Two major problems that need to be addressed are quickly correcting the error data which is caused by the channel noise and real-time processing a great deal of compression data in the real-time decompression. A new real-time decompression algorithm based on the existing JPEG2000 decompression algorithm is proposed. This new algorithm brings high-speed error resilience method into JPEG2000 decompression algorithm and optimizes the existing JPEG2000 decompression algorithm's structure. The high-speed error resilience method is based on the Monte-Carlo method and the feature of JPEG2000 compression data's structure. The experimental results demonstrate the new real-time decompression algorithm can improve the speed of decompression by 30%, which meets the requirements of real-time decompression, and guarantees the quality of the image.

Key words: JPEG2000; decompression; error resilience; Monte-Carlo

0 引言

实时解压缩算法需要解决的两个问题是实时处理大量的压缩数据和快速纠正信道噪声导致的数据错误。

针对第一个问题, 文献[1-2]提出根据图像不同的频率成分在小波域进行不同的小波编码, 以降低数据量, 实现实时处理。文献[3]基于 JPEG2000 标准的优异特性 (JPEG2000 标准支持从分辨率和码率较低的压缩数据中解压出高质量的图像) 提出了一种压缩数据转换算法。该算法在保证图像质量的前提下从高分辨率的压缩码流中提取低分辨率的压缩数据, 以降低

数据量实现数据传输和解压缩的高效率。但是文献[2-3]提出的算法不适用于无损压缩的情况。文献[4-8]将 JPEG2000 标准移植到硬件平台或多核处理器中, 满足了 JPEG2000 解压缩算法的实时性要求。但是文献[4-8]提出的算法虽然实现了实时性, 但硬件结构又限制了它的应用范围。

针对第二个问题, 文献[9]针对椒盐噪声对压缩图像的干扰提出了一种在小波域的数据纠错算法, 但是该算法针对特定的噪声环境, 因而不具备通用性。文献[10]通过分析 JPEG2000 标准的压缩/解压缩流程, 提出了通过利用模式变量来提高纠错能力的算法。文献[11]通过 Turbo 码的良好容错能力提高了

收稿日期: 2014-05-03

修回日期: 2014-09-01

网络出版时间: 2015-06-23

基金项目: 国防基金(9140A22020112JB08067)

作者简介: 兰新杰 (1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为实时图像信号处理; 赵保军, 博士, 教授, 研究方向为实时图像信号处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1028.014.html>

JPEG2000 压缩数据在信道传输的稳定性。但是这两种算法采用了开环结构,即一旦检测到数据出错或数据不全,整个解压缩算法会立即结束。相反,实时解压缩算法必须是一个闭环结构,即解压缩算法必须有纠错算法来应对数据的丢失和错误以保证整个算法运行的连续性和稳定性。因此该纠错算法也不适用于实时解压缩领域。

文中根据 JPEG2000 压缩数据结构的特点将 MC 应用于实时解压缩的数据纠错以保证图像质量;同时根据实时解压缩算法是闭环结构的特点,优化了现有 JPEG2000 解压缩算法的接口以提高解压缩速度,很好地解决了实时解压缩算法面临的两个问题。

1 JPEG2000 标准和蒙特卡罗方法

1.1 JPEG2000 标准

JPEG2000^[12-16]是目前最先进的静态图像压缩标准,具有压缩倍数大、压缩质量好、支持质量渐进性和分辨率渐进性等功能。JPEG2000 解压缩算法流程^[14]如图 1 所示。首先码流分解模块按照主包头中的数据结构信息将压缩数据分解为独立的数据块;然后熵解码模块将数据块中的数据独立解码为小波系数;经过反向量化模块输出的小波系数通过小波逆变换最终转换为原始图像。



图 1 JPEG2000 解压缩流程

因为不同数据块的小波系数是独立进行熵编码和熵解码的,所以部分压缩图像数据的丢失和错误只会影响图像质量,而不会导致整幅图像解压缩的失败。此外,因为解压缩模块需要提取主包头信息包含的文件参数、压缩参数来完成相应的解压缩工作,所以主包头信息在解压缩过程中同样起着至关重要的作用。因此对于接收到的压缩图像数据,只需要保证主包头信息和 JPEG2000 压缩数据结构的正确性和完整性,就可以完成解压缩工作,而无需过多关注大量的图像数据。这正是文中容错算法的思路来源。

1.2 蒙特卡罗方法

蒙特卡罗 (Monte Carlo, MC) 方法^[17]是以概率论和数理统计为基础的一种计算方法。MC 首先建立一个与所求解相关的概率模型,使所求解就是该模型的概率分布或数学期望,然后用样本的均值作为所求解的估计值。因此 MC 可以解决一个变量的确定性问题,而且 MC 具有收敛速度与问题维数无关、结构简单和适应性强的优点。MC 的理论基础是概率论中的柯尔莫哥洛夫 (Kolmogorov) 强大数定律。柯尔莫哥洛夫

强大数定律指出在大样本条件下,样本平均值可以看作是总体平均值(数学期望)。设 ξ_1, ξ_2, \dots 为独立同分布的随机序列。

若 $E[\xi_k] = \mu, k = 1, 2, \dots$ 则有

$$P\left(\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_k = \mu\right) = 1$$

显然 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ 是由同一总体中得到的抽样,那么由柯尔莫哥洛夫强大数定律可知样本均值 $\frac{1}{n} \cdot$

$\sum_{k=1}^n \xi_k$, 当 n 很大时以概率 1 收敛到总体均值 μ 。

通过蒙特卡罗方法解决工程技术中的确定性问题的步骤如下所示:

- (1) 建立一个与所求解有关的概率模型,使所求解就是该概率模型的概率分布或数学期望;
- (2) 对所求解进行随机抽样,建立随机变量;
- (3) 用随机变量的样本均值作为所求解的近似估计值。

在步骤(3)中可以采用莱维-林德贝格 (Levy-Lindeberg) 中心极限定律确定估计误差,并根据工程技术要求确定合适的采样数据以保证估计精度。

2 JPEG2000 实时解压缩算法

2.1 基于 MC 的数据纠错算法

在有损信道中的数据传输可建立如下数学模型:

$$e_o(t) = f[e_i(t)] + n(t) \quad (1)$$

其中, $e_i(t)$ 表示数据输入, $f[e_i(t)]$ 表示输出数据和输入数据在理想信道中的函数关系; $n(t)$ 表示信道噪声。通常情况下,函数关系为线性的,因此可以将 $f[e_i(t)]$ 表示为 $a \cdot e_i(t) + b$, 则 $e_o(t) = a \cdot e_i(t) + b + n(t)$; 信道噪声 $n(t)$ 为符合高斯分布的白噪声,而且均值为 0, 即 $n(t) \sim N(0, \sigma^2)$; 信道输入的图像数据 $e_i(t)$ 保持不变, 可记为常数 C 。因此信道输出的最终数学模型为:

$$e_o(t) = a \cdot C + b + n(t), e_o(t) \sim N(a \cdot C + b, \sigma^2) \quad (2)$$

分析有损信道的输出数据的概率模型可知:输出数据的均值恰好为正确的输入数据的线性变换。因此 MC 适用于纠正图像数据经过有损信道出现的数据错误。

根据 JPEG2000 压缩数据结构和信道噪声对数据传输的影响可知:解压缩算法对压缩数据的最低要求为保证主包头信息和 JPEG2000 压缩数据结构的正确性和完整性。为此可以对 JPEG2000 压缩数据进行分包处理,同时为每一包压缩数据生成信道编码包头,信道编码如图 2 所示。信道编码包头实际上是重构

JPEG2000 压缩数据的一个索引。对信道编码包头采用 MC 进行数据纠错以保证 JPEG2000 压缩数据结构的正确性和完整性;通过对 JPEG2000 压缩数据的主包头采用 MC 进行数据纠错以保证 JPEG2000 主包头的正确性,最终满足解压缩算法对压缩数据的最低要求。

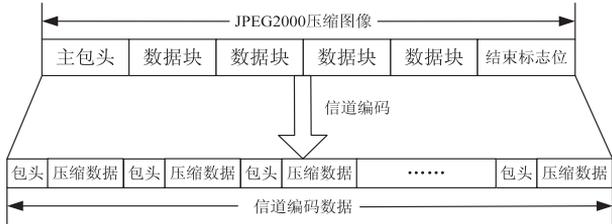


图2 压缩图像数据信道编码格式

2.2 实时解压缩算法结构的优化

现有解压缩算法不满足闭环结构以及数据读写接口的速度较低是解压缩算法不能实现实时性的主要原因。目前研究最多的开源解压缩算法是由 David Tuhman 提出的 KaKadu 解压缩算法^[18]。KaKadu 解压缩算法结构和文中提出的实时解压缩算法结构如图3所示。分析 KaKadu 解压缩算法结构可知:该算法的开环结构主要体现在它的纠错算法上,即当出现数据错误和丢失的时候,KaKadu 会终止整个解压缩算法。分析可知,可以通过修改 KaKadu 纠错算法中的 C++类 kdu_error 和 kdu_warning 来实现算法结构的转变,以保证解压缩算法的闭环结构。而且 KaKadu 解压缩算法基于文件操作的读写接口会造成频繁的硬盘读写操作,降低了整个解压缩流程的速度。可以将 KaKadu 的接口类(kdu_simple_file_source 和 kdu_image_out)的文件读写接口改为缓存读写接口,以提高解压缩速度。

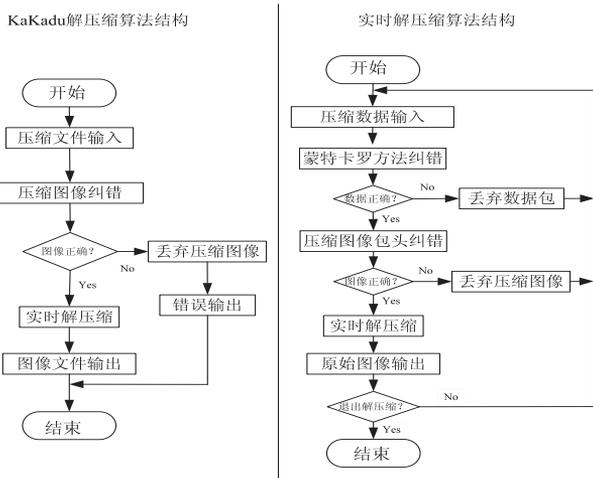


图3 解压缩算法结构对比

3 测试结果

3.1 数据纠错能力验证

为了验证文中提出的实时解压缩算法的纠错能

力,采用 120 幅图像尺寸为 948×404 内含随机噪声的测试图像,在压缩倍数为 32、误码率(Bit Error Rate, BER)为 10⁻⁶的情况下,验证了在不同采样次数下基于 MC 的数据纠错算法对 JPEG2000 包头数据某一特定标志位的纠错能力。实验结果如表 1 所示。

表1 基于 MC 的数据纠错算法性能分析

	实时解压缩算法			KaKadu
	解压缩算法			解压缩算法
抽样次数	3	5	7	0
错误发现率/%	100	100	100	100
数据纠错率/%	96.72	98.94	99.03	0
算法耗时/ms	83	103	119	79

注:抽样次数为 0 表示不采用基于 MC 的数据纠错算法;数据纠错率为 0 表示无法纠正发现的数据错误

实验结果表明,KaKadu 解压缩算法可以检测出由于噪声引起的标志位错误,但是由于 KaKadu 解压缩算法采用开环结构因而不具备纠错能力。而文中提出的实时解压缩算法不但可以检测出噪声引起的标志位错误,而且数据纠错能力比 KaKadu 解压缩算法有很大的提高。

3.2 图像保真度验证

为了验证文中提出的实时解压缩算法在图像保真度^[19]方面的性能,采用 Lena 标准测试图像,在无损压缩(压缩倍数约为 3)、8 倍、16 倍、32 倍、64 倍五种不同压缩倍数下,计算了实时解压缩算法分别在无噪声干扰和有噪声干扰条件下解压出的图像的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)。实验结果表明,噪声环境下的 PSNR 与无噪声环境下的 PSNR 差别非常小,证明了文中提出的实时解压缩算法可以保证图像的质量。实验结果如图 4 所示。

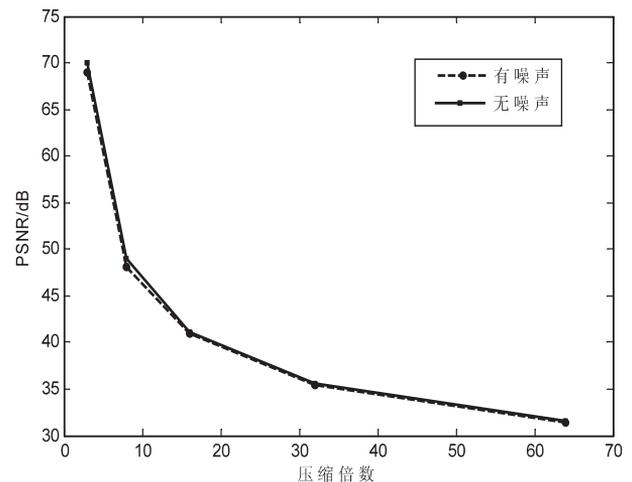


图4 不同噪声环境下图像的 PSNR 值

3.3 算法效率验证

为了验证 JPEG2000 实时解压缩算法的效率,文中选取一幅图像尺寸为 948×404 的测试图像,在不同

的压缩倍数下,测试了实时解压缩算法和 KaKadu 解压缩算法所消耗的时间。实验结果表明,实时解压缩算法的速度要比 KaKadu 算法快 30% 左右。实验结果如表 2 所示。

表 2 算法性能比较

压缩倍数	实时解压缩 算法耗时	KaKadu 解压缩 算法耗时	效率提高/%
2	7 251	9 903	26.70
8	6 309	8 893	29.05
32	5 934	8 598	30.92
80	6 039	8 648	30.16

注:效率提高=(KaKadu 解压缩算法耗时-实时解压缩算法耗时)/KaKadu 解压缩算法耗时

以上实验结果表明:相比现有的 JPEG2000 解压缩算法,文中提出的实时解压缩算法在数据纠错能力、解压缩效率方面的性能有很大提高,很好地解决了实时解压缩算法面临的两个问题。

4 结束语

文中在现有 JPEG2000 解压缩算法基础上提出一种实时解压缩算法。该算法基于蒙特卡罗方法和 JPEG2000 压缩数据结构特点引入快速数据纠错算法,提高了算法的容错能力;同时优化了现有解压缩算法的结构,提高了解压缩算法的速度,效率平均提高 30%,在保证解压缩图像保真度的前提下,大幅度提高了 JPEG2000 解压缩算法的速度,达到实时性的目的。

参考文献:

[1] Kathiyaiyah T, Oh T H. Performance analysis of JPEG2000 transmission through low SNR MC-CDMA channel[C]//Proc of IEEE 9th Malaysia international conference. Malaysia: IEEE,2009:485-490.

[2] Deng Chenwei, Zhao Baojun. Real-time coding scheme for high-resolution remote sensing images[J]. Chinese Journal of Electronics,2009,18(3):444-448.

[3] Joshi R L, Deever A T. Efficient transcoding of JPEG2000 images[C]//Proc of conference on applications of digital image processing. [s. l.]:[s. n.],2003:194-205.

[4] Dyer M, Gupta A K, Galin N, et al. Hardware acceleration of the JPEG2000 KaKadu library[C]//Proc of 49th IEEE international Midwest symposium on circuits and systems. Midwest:IEEE,2006:333-336.

[5] 刘文怡,鲁林. JPEG2000 核心算法的改进及实现[J]. 机械工程与自动化,2010(2):9-13.

[6] 吴昊,邓家先,黄艳. 基于 OpenMP 的 JPEG2000 并行解码算法的实现[J]. 通信技术,2011,44(4):10-12.

[7] Hong Q, Wang K W, Cao W, et al. A reconfigurable architecture for DWT and IDWT in JPEG2000[C]//Proc of IEEE 8th international conference on ASIC. [s. l.]:IEEE,2009:191-194.

[8] Dyer M, Nooshabadi S, Taubman D. Design and analysis of system on a chip encoder for JPEG2000[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology,2009,19(2):215-225.

[9] Peng Zhou, Zhao Baojun. Novel scheme for Sar image compression based on JPEG2000[C]//Proc of 9th international conference on electronic measurement and instruments. [s. l.]:[s. n.],2009:4206-4209.

[10] Bilgin A, Wu Zhenyu, Marcellin M W. Decompress of corrupt JPEG2000 codestreams[C]//Proc of data compression conference. [s. l.]:[s. n.],2003:123-132.

[11] Zhang Weidang, Shao Xia, Torki M, et al. Unequal error protection of JPEG2000 images using short block length turbo codes[J]. IEEE Communications Letters,2011,15(6):659-661.

[12] Taubman D. High performance scalable image compression with EBCOT[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2000,9(7):1158-1170.

[13] ISO/IEC 15444-1. JPEG2000 image coding system[S]. 2000.

[14] Rabbani M, Joshi R. An overview of JPEG2000 still image compression standard[J]. Signal Processing:Image Communication,2002,17(1):3-48.

[15] Christopoulos C, Skodras A, Ebrahimi T. The JPEG2000 still image coding system: an overview[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics,2002,46(4):1103-1127.

[16] Skodras A N, Ebrahimi T. JPEG2000 image coding system theory and applications[C]//Proc of 2006 IEEE international symposium. [s. l.]:IEEE,2006:3866-3890.

[17] 张珽. 基于蒙特卡罗方法的通信系统误码率的仿真[J]. 无线通信技术,2010,19(1):20-22.

[18] 孔祥焰,罗桂娥. 基于 JPEG2000 的 Kakadu 开源代码结构和移植性分析[J]. 现代电子技术,2009,32(12):64-67.

[19] Zhao Baojun, Deng Chenwei. Image quality evaluation method based on human visual system[J]. Chinese Journal of Electronics,2010,19(1):129-132.

基于蒙特卡罗方法的JPEG2000实时解压缩算法

作者: [兰新杰](#), [赵保军](#), [LAN Xin-jie](#), [ZHAO Bao-jun](#)
作者单位: [北京理工大学 信息与电子学院, 北京, 100081](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2015(7)

引用本文格式: [兰新杰](#), [赵保军](#), [LAN Xin-jie](#), [ZHAO Bao-jun](#) [基于蒙特卡罗方法的JPEG2000实时解压缩算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(7)