



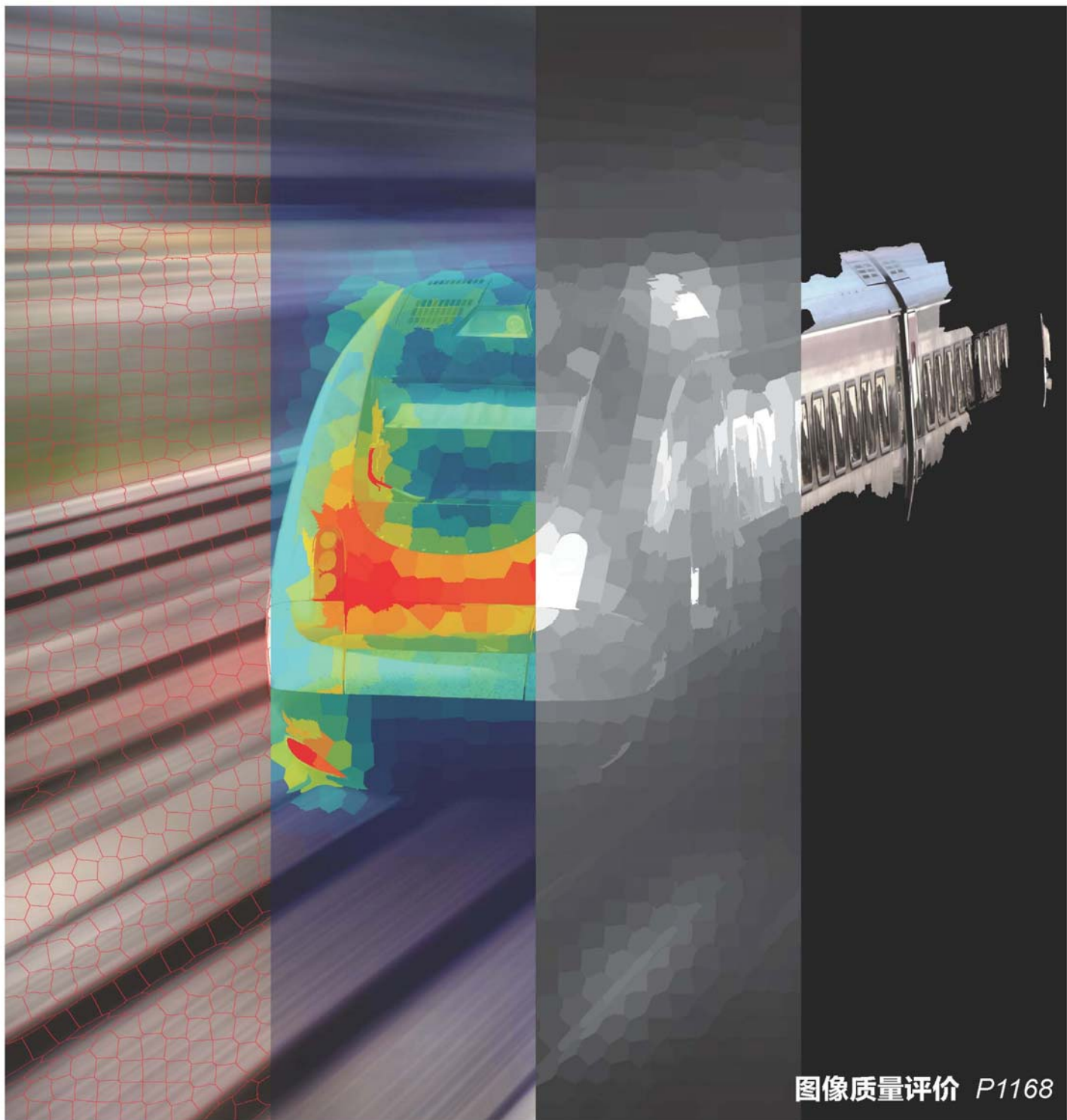
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
08
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

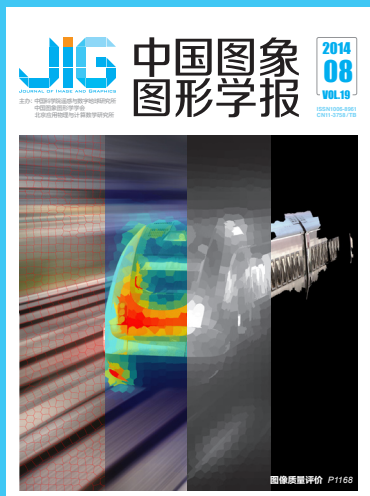


图像质量评价 P1168

中国图象图形学报

刊名题字: 宋健

月刊 (1996年创刊)



第19卷第8期 (总第220期)

2014年8月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿, 均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版, 所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用, 所有内容, 未经许可, 不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

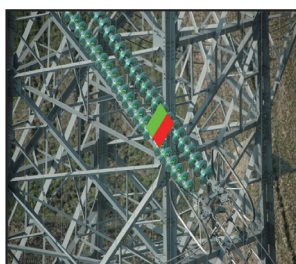
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



基于色调优化的图像视频细节增强(第1149页)



形状感知的绝缘子识别与缺陷诊断(第1194页)



基于自适应权值滤波的深度图像超分辨率重建(第1210页)

图像处理和编码

利用纹理和空间相关性的HEVC帧内预测模式选择

齐美彬, 朱广辉, 杨艳芳, 蒋建国 1119

方向滤波抗混叠的低冗余图像多尺度变换

张湃, 王丽侠, 张银蒲 1126

L_0 准则的最大误差图像压缩算法

李晓云, 庞超逸, 黎彤亮, 黄世中 1135

利用无参考图像内容量度优化非局部均值去噪方法的参数

侯鑫, 陆耀, 李建武 1142

基于色调优化的图像视频细节增强

王津航, 刘春晓, 朱臻阳, 金剑秋, 唐佳娣 1149

结合图像融合与分割的快速去雾

王伟鹏, 戴声奎 1155

彩色图约束的二阶广义总变分深度图超分辨率重建

邸维巍, 张旭东, 胡良梅, 段琳琳 1162

重要区域保持的图像缩放质量评价方法

梁云, 傅贤超, 刘财兴 1168

图像分析和识别

图嵌入正则化投影非负矩阵分解人脸图像特征提取

杜海顺, 张旭东 1176

基于稀疏编码的动态纹理识别

刘洋, 李一波, 姬晓飞, 王杨扬 1185

形状感知的绝缘子识别与缺陷诊断

张晶晶, 韩军, 赵亚博, 刘浪, 王万国, 朱铭武 1194

迭代最小二乘椭圆拟合的锥套图像检测与跟踪

黄斌, 孙永荣, 杨博文, 王潇潇, 刘晓俊 1202

图像理解和计算机视觉

基于自适应权值滤波的深度图像超分辨率重建

杨宇翔, 曾毓, 何志伟, 高明煜 1210

医学图像处理

应用球形算子层次聚类的3维冠脉跟踪提取

郑永昌, 耿辰, 宋爽, 杨健 1219

遥感图像处理

波段排序的高光谱影像3维混合树编码方法

王相海, 解天, 宋传鸣, 张智迪 1228

多线程遥感影像实时渐进传输

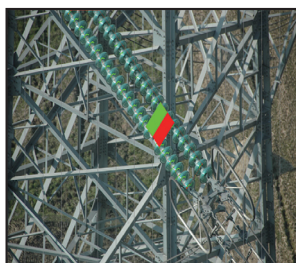
刘万军, 孟煜, 曲海成, 石翠萍 1237

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Image and video detail-enhancement via tone optimizationimage morphing(P1149)



Insulator Recognition and Defects Detection Based On Shape Perceptual (P1194)



Depth map super-resolution via adaptive weighting filter (P1210)

Image Processing and Coding

- HEVC intra-prediction mode selection by using texture and spatial correlation
Qi Meibin, Zhu Guanghui, Yang Yanfang, Jiang Jianguo 1119
- Low redundant image multiscale transform with anti-aliasing direction filtering
Zhang Pai, Wang Lixia, Zhang Yinpu 1126
- Algorithm for maximum error image compression based on L_{∞} norm
Li Xiaoyun, Pang Chaoyi, Li Tongliang, Huang Shizhong 1135
- Optimizing the parameters of non-local means via no-reference image content metric for image denoising
Hou Xin, Lu Yao, Li Jianwu 1142
- Image and video detail-enhancement via tone optimization
Wang Jinhang, Liu Chunxiao, Zhu Zhenyang, Jin Jianqiu, Tang Jiadi 1149
- Fast haze removal method based on image fusion and segmentation
Wang Weipeng, Dai Shengkui 1155
- Depth image super-resolution based on second-order total generalized variation constrained by color image
Di Weiwei, Zhang Xudong, Hu Liangmei, Duan Linlin 1162
- Image retargeting quality assessment by preserving important regions
Liang Yun, Fu Xianchao, Liu Caixing 1168

Image Analysis and Recognition

- Graph embedding regularized projective non-negative matrix factorization for face image feature extraction
Du Haishun, Zhang Xudong 1176
- Dynamic texture recognition based on sparse coding
Liu Yang, Li Yibo, Ji Xiaofei, Wang Yangyang 1185
- Insulator recognition and defects detection based on shape perceptual
Zhang Jingjing, Han Jun, Zhao Yabo, Liu Liang, Wang Wanguo, Zhu Mingwu 1194
- Droque image detecting and tracking based on iterative least squares ellipse fitting
Huang Bin, Sun Yongrong, Yang Bowen, Wang Xiaoxiao, Liu Xiaojun 1202

Image Understanding and Computer Vision

- Depth map super-resolution via adaptive weighting filter
Yang Yuxiang, Zeng Yu, He Zhiwei, Gao Mingyu 1210

Medicine Image Processing

- Novel 3D coronary artery extraction method using hierarchical clustering of spherical operator
Zheng Yongchang, Geng Chen, Song Shuang, Yang Jian 1219

Remote Sensing Image Processing

- Hyperspectral image coding with band ordering and 3D hybrid tree
Wang Xianghai, Xie Tian, Song Chuanming, Zhang Zhidi 1228
- Remote sensing image real-time progressive transmission based on multi-threads
Liu Wanjun, Meng Yu, Qu Haicheng, Shi Cuiping 1237

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)08-1237-10

论文引用格式: Liu W J, Meng Y, Qu H C, Shi C P. Remote sensing image real-time progressive transmission based on multi-threads[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(8): 1237-1246. [刘万军, 孟煜, 曲海成, 石翠萍. 多线程遥感影像实时渐进传输[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(8): 1237-1246.] [DOI:10.11834/jig.20140816]

多线程遥感影像实时渐进传输

刘万军¹, 孟煜¹, 曲海成^{1,2}, 石翠萍³

1. 辽宁工程技术大学软件学院, 葫芦岛 125105; 2. 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 哈尔滨 150006;

3. 齐齐哈尔大学通信与电子工程学院, 齐齐哈尔 161006

摘要: 目的 针对异构网络环境下, 不同终端用户对遥感影像质量的不同需求而导致的影像数据量过大、传输及显示延迟过长等问题, 提出一种在线压缩—实时传输—实时解压缩的遥感影像渐进传输模型。方法 模型采用多线程流水线同步处理的加速算法, 将基于质量渐进压缩的 SPIHT 算法与多线程流水线技术相结合, 在 VC++ 环境下, 将遥感影像在线压缩成码流, 在压缩的同时, 启动多线程采用 Socket 信道对压缩码流实时发送, 客户端收到码流后, 利用多线程实时解压缩并显示。通过采用多线程技术, 使得压缩、传输和解压缩同步进行, 从而减少了整体处理时间。结果 实验结果表明, 提出的实时压缩渐进传输模型, 在不影响影像质量的前提下, 算法处理速度提高近 2 倍。每个渐进分层影像与原影像的相似度比多分辨率渐进压缩分层影像与原影像的相似度平均增加 20%。结论 该模型有效地解决了遥感影像渐进传输过程中压缩、传输和解压缩的不同步问题, 从而提高了渐进传输效率。与多分辨率渐进传输比较, 此渐进传输模型具有更好的视觉效果。

关键词: 遥感影像; 实时渐进传输; 多线程流水线; SPIHT 编码

Remote sensing image real-time progressive transmission based on multi-threads

Liu Wanjun¹, Meng Yu¹, Qu Haicheng^{1,2}, Shi Cuiping³

1. School of Software, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China;

2. School of Electronics & Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China;

3. School of Communication and Electronic Engineering, Qiqihar 161006, China

Abstract: **Objective** To meet the different needs of different users to the quality of remote sensing images leading to a series of problems, such as a large amount of image data and transmission and display delay in heterogeneous network environments, an online remote sensing image progressive transmission model is constructed in which remote sensing image compression and decompression are synchronized with transmission. **Method** At the same time, a pipeline-based multi-thread acceleration scheme with SPIHT algorithm, which is a quality progressive method, is proposed through solving the asynchronous problem between compression, decompression, and transmission to improve the efficiency of remote sensing progressive transmission. In the VC++ platform, the proposed model was implemented based on a socket communication channel and SPIHT, which can provide a qualitative progressive code stream. First, a given image was compressed into a code stream by SPIHT. Then, the socket channel was used for sending the code stream in real time. For the client, it decompressed the code stream and displayed the reconstructed image as soon as it received the code stream. The real-time

收稿日期: 2013-12-16; 修回日期: 2014-03-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)基金项目(2012AA12A405); 国家自然科学基金项目(61172144)

第一作者简介: 刘万军(1959—), 男, 教授, 博士生导师, 1991 年于阜新矿业学院获电力传动及其自动化专业工学硕士学位, 主要研究方向为数字图像处理、运动目标检测与跟踪。E-mail: liuwanjun39@163.com

system was realized by multi-threading technology, which guaranteed that the compression, transmission, and decompression were processed synchronously. Therefore, the whole processing time can be reduced. **Result** Experimental results show that the whole processing speed has been improved nearly twice without reducing image quality by using the proposed progressive transmission of the real-time compression model. Compare with multi-resolution progressive method, the similarity index has improved an increase of 20% between each progressive layer of image and the original image in our quality progressive method. **Conclusion** The asynchronous problem during the processing of compression-transmission-decompression for remote sensing images was solved in the new model, and the transmitting efficiency has greatly improved. On the other hand, this proposed progressive transmission model has done better in visual effects as contrasted with the multi-resolution progressive transmission.

Key words: remote sensing; real-time progressive transmission; pipeline-based multi-threads; SPIHT coding

0 引言

随着遥感技术的不断成熟,从遥感卫星获取的地球影像的面积不断扩大、空间分辨率与光谱分辨率不断提高,相应的遥感影像的数据规模呈几何级数增长。利用中间图像技术、栅格分块技术、高速缓存技术和平行缩放技术等可使浏览遥感影像成为现实^[1-2],但相对于遥感影像呈 GB 甚至 TB 量级的海量数据而言,以 KB 或 MB 为单位的网络带宽和存储设备读写速度则成为快速传输并浏览遥感影像的主要瓶颈^[3-4]。为了克服这个问题,Tzou 等人^[5]提出了渐进图像传输(PIT)技术,它通常将图像压缩并逐渐传送压缩码流。利用这种传统的渐进传输方法虽然能够解决数据传输与存储的问题,但由于其每次传输的是整幅分层影像码流,高质量层与低质量层信息无关联导致了分层图像数据重复量大、冗余度高。并且仍然没有解决因为带宽限制而造成的响应时间过慢、客户端与服务端交互性差的问题。

图像的渐进传输形式主要分为两种,图像质量分级和图像空间分辨率分级。因此基于图像质量分级渐进传输和基于图像多分辨率分级传输获得广泛应用^[6-9]。为了进一步提高渐进传输的效率与显示效果,从压缩算法加速的角度,Dhara 等人^[10]提出了 BTC-PF 的概念被用于更快的解码;在降低运算复杂度方面,Lim 等人^[11]提出了一种交互式的渐进图像传输方法,使远程用户可以交互地选择并从索引图像传输首选地区;在提高压缩图像精度方面,Woodring 等人^[12]通过利用标准化的方法重构了小波压缩,在减少大规模数据运算的同时提高了图像的压缩精度;在满足用户不同需求方面,可对遥感影像的感兴趣区域(ROI)先行传输,以加快用户浏览感兴趣图像的速度^[13-16]。但是遥感影像渐进传输整体

的效率没有本质上的优化。针对上述问题,提出一种在线压缩—实时传输—实时解压缩的实时压缩渐进传输模型(RCPT)。将遥感影像压缩与传输相结合,利用多线程并行的思想加速渐进传输。遥感影像在线压缩成码流,并对压缩的码流实时发送,客户端收到码流后,实时解压缩并显示。这种实时渐进传输模型既提高了遥感图像在移动网络中传输的速度又有效节省移动网络昂贵的流量。在线压缩实时渐进传输的遥感影像传输模型对于异构网络环境下的移动终端遥感影像快速浏览具有实际意义。

1 遥感影像渐进传输技术

选择一种高效的压缩算法与稳定的传输信道是实现实时压缩渐进传输的关键。要完成大数据量遥感影像的传输,首先需要对遥感影像进行压缩,其压缩算法应具有可分级压缩、每一级可单独解压、从低质量级向高质量级解压只需填加增量,且具有一定的压缩比的特点。在传输方面首先需要稳定的传输信道,并且信道要支持异构网络环境下基于连接的 TCP 传输协议。另外为减少 I/O 的访问延迟,信道数据交互需要在进程间完成。

1.1 压缩算法选择

SPIHT 图像压缩编码算法由 Said 和 Pearlman 于 1996 年提出^[17]。SPIHT 算法是一种基于尺度不变质量分级的算法,其继承了嵌入式零树小波编码(EZW)算法中的小波系数的零树结构,空间方向树结构如图 1 所示。

SPIHT 压缩算法通过对方向树各加权子节点的划分,将尽可能多的无权值与权值分开,使其系数汇集在同一个子集中,用一个单位符号表示,从而达到压缩的目的。将集合 I 的重要权值 I_n 定义为

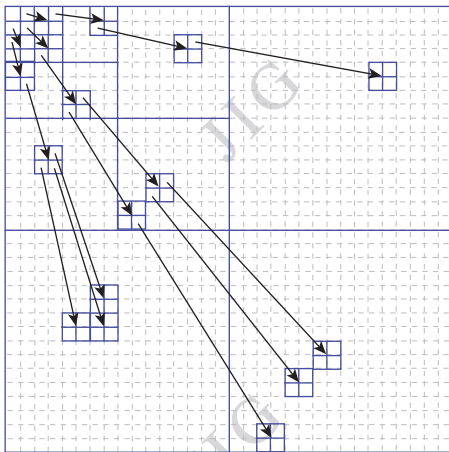


图1 SPIHT 算法中定义的空间方向树

Fig. 1 Spatial orientation tree in SPIHT

$$I_n(T) = \begin{cases} 1 & \max_{(p,q) \in T} \{ |a_{p,q}| \} \geq 2^n \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, 1 表示重要权值, T 表示图像像素点集合, 0 表示非重要权值, $a_{p,q}$ 为像素节点坐标为 (p, q) 的值, n 表示位平面, 2^n 为第 n 个位平面的阈值。将位平面中权值为 1 的重要像素存储在重要像素列表 (LSP) 中, 重要权值为 0 的像素存在非重要像素列表 (LIP)、非重要集合列表 (LIS) 中。通过这些集合生成的 SPIHT 位平面编码形式如图 2 所示。

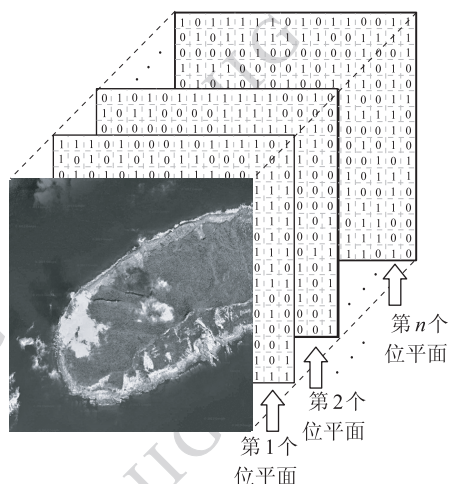


图2 SPIHT 位平面编码形式

Fig. 2 Bit-plane encoding of SPIHT

根据 SPIHT 位平面的编码形式, 高质量的影像可以通过低质量的影像增加细节增量而得到, 传输时先传递低质量的码流数据, 然后根据需要依次传递细节增量, 最终得到原影像质量的数据。每个位平面的码流只包含该层的重要权重信息, 即还原该

层图像的增量, 记为 τ_n (n 表示位平面), 则第 n 层图像为

$$M_n = \begin{cases} M_{n-1} + \tau_n & n > 1 \\ \tau_1 & n = 1 \end{cases} \quad (2)$$

1.2 Socket 网络通信

Socket 是一种面向网间进程的网络通信信道, 包括面向连接和面向无连接两种工作方式。在面向连接的 TCP 协议下, 通信的应用程序之间要建立一种连接链路, 然后数据才能被正确地接收和发送。而面向无连接的 UDP 协议是通过数据报文方式收发信息且不需要事先建立连接。由于影像的渐进传输需要在异构网络环境下进行多次握手, 以保证码流能够准确无误地在信道中传输, 因此需要选择 TCP 支持面向连接的、可靠的通信协议来保证图像信息的准确性。

网络通信中, 由于网络拥挤或者一次发送数据量过大等原因, 经常发生数据不能在短时间内传完, 收发数据的函数不能返回的阻塞现象。Socket 支持阻塞方式, 收发数据需得到反馈信息方可完成。因此, 采用 Socket 信道的阻塞传输方式来保持遥感影像渐进传输时刻畅通。

2 实时压缩与渐进传输

由于遥感影像的实时压缩渐进传输在两个终端的两个进程中实现, 在物理层次上分为服务端和客户端两大结构。服务端负责从数据库中获取客户所需影像, 对影像进行压缩并将已经压缩完的码流实时发送。客户端负责将接收到的码流实时解压并显示或存储。在逻辑上, 这种传输模型可分为数据库读取、压缩、传输、显示 4 个模块。实时压缩渐进传输模型如图 3 所示。

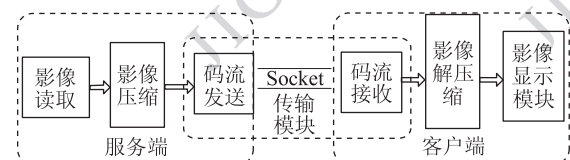


图3 实时压缩渐进传输模型

Fig. 3 Real-time compression progressive transmission model

2.1 实时压缩渐进传输流程

实时压缩渐进传输流程如图 4 所示。在客户端与服务端取得连接后, 客户端将所需的遥感影像的经

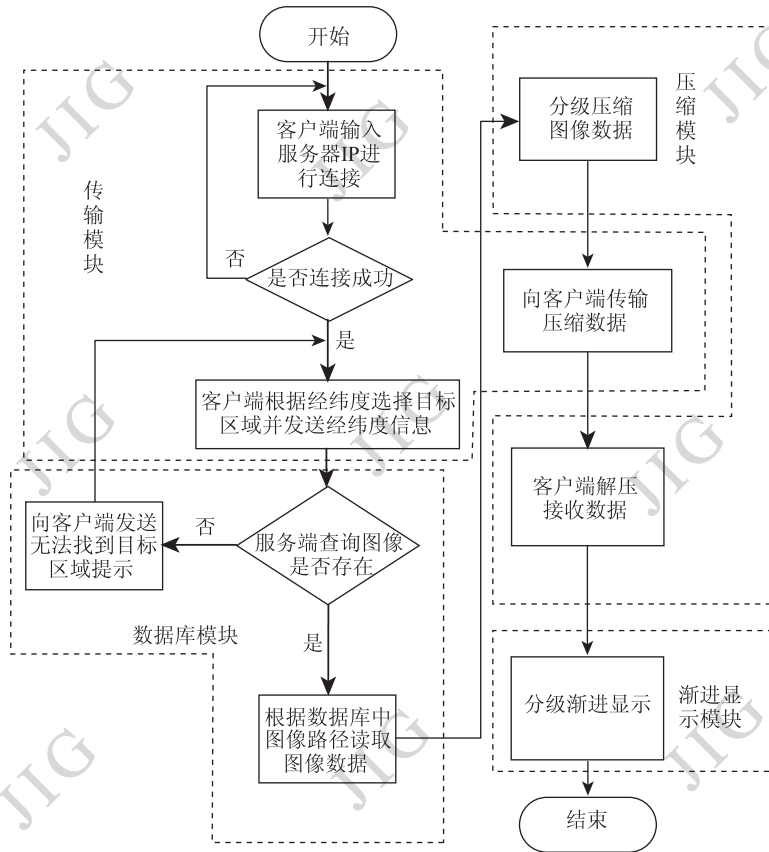


图4 实时压缩渐进传输流程

Fig. 4 Real-time compression progressive transmission flow

纬度坐标或区域名称发送给服务端,服务端在数据库中检索客户端所需影像是否存在,如果存在则读取图像进行压缩,通过调用多线程将码流发送给客户端。客户端调用多线程使接收数据与解压缩并行进行。

2.2 分包式渐进传输

根据 SPIHT 具有可不完整性解压的特点,在渐进传输过程中无需等待一个位平面完全编码结束再进行传输。设定一个数据包,长度固定,压缩码流实时以队列的形式进入数据包,包满则立即发送。这样可有效减少各线程的等待时间,提高压缩与发送、解压缩与接收的并行时间,从而提高渐进传输效率。

渐进传输数据包结构如图5所示。每个数据包最小单位为字节,长度固定,记为 L 。在发送码流之前,先将 SPIHT 编码的初始化参数 H 打包发送给客户端。初始化数据包包含:初始化参数 H 、初始化数据包标识 Hh 、初始化数据包尾 Ho 。 H 由影像的长、宽、小波分解级数、小波系数最大值构成,每个参数均占4字节,共16字节; Hh 占8字节; Ho 全为0,占 $L-24$ 字节。

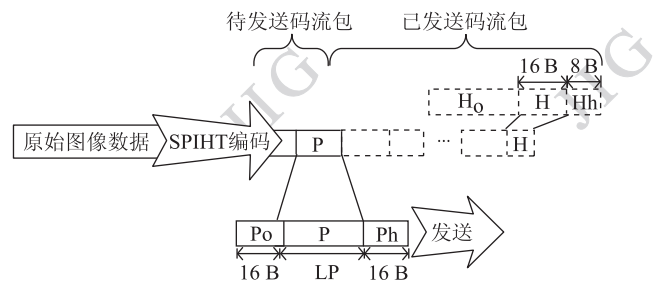


图5 数据包结构

Fig. 5 Packet structure

码流数据包包含码流 P 、码流数据包头 Ph 、码流数据包尾 Po 。 P 的长度为 L_p ; Ph 包含该段码流所在位平面信息,占16字节; Po 包含终止信息,占16字节。数据包长度 L 由 L_p 决定,即

$$L = L_p + 32 \quad (3)$$

将一整幅影像码流的传输数据包数记为 R , 设共有 n 个位平面,第 k 个位平面的码流数记为 C_k , 则

$$R = \sum_{k=1}^n \left\lceil \frac{C_k}{L_p} \right\rceil + 1 \quad (4)$$

发送数据总量 S 为

$$S = L \times R \quad (5)$$

2.3 多线程在线压缩与解压缩

在服务端进程启动压缩线程的同时,发送线程也开启并实时监测发送队列,如果发送队列已满,则

向客户端发送数据包,然后继续监测数据包状态,进入下一个发送周期。客户端在接收数据的同时开启解压缩线程。服务端压缩与发送、客户端接收与解压缩多线程的具体工作流程如图6所示。

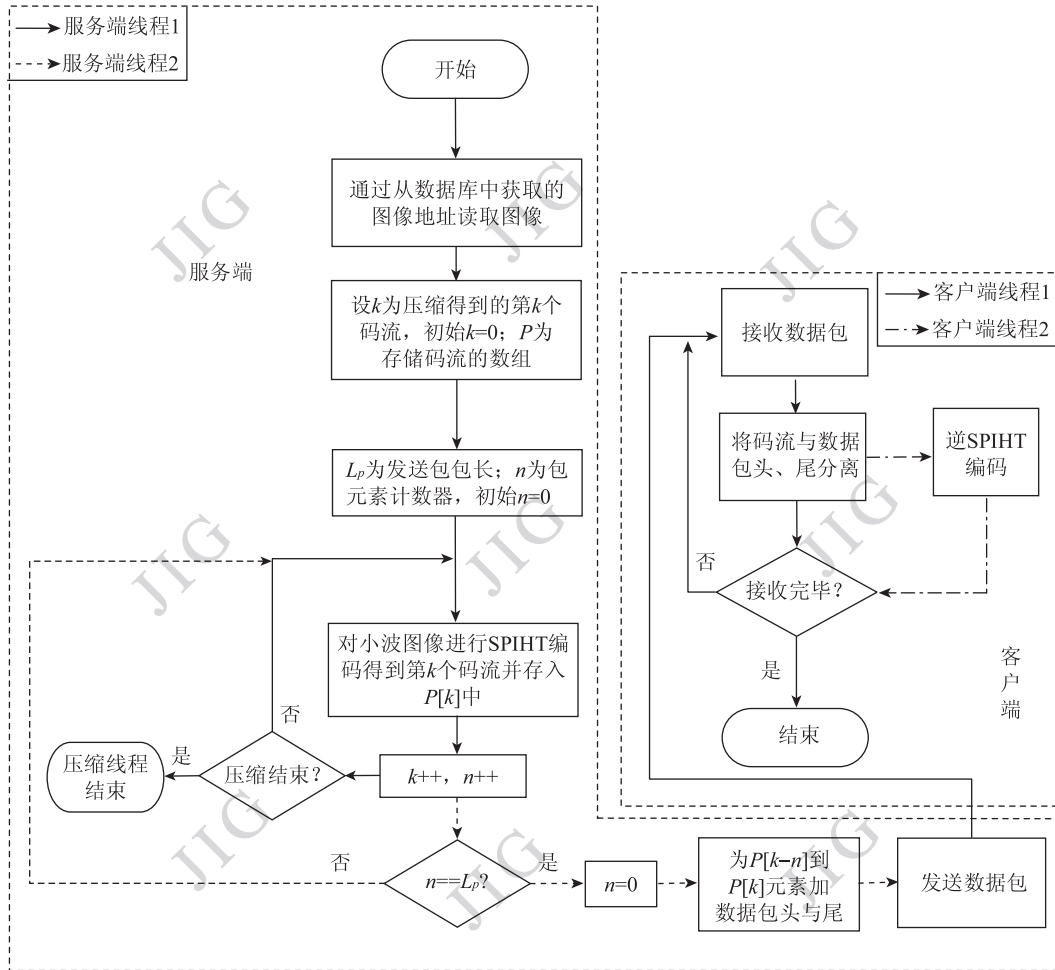


图6 多线程在线压缩与解压缩流程

Fig. 6 Multi-threads online compression and decompression flow

2.4 基于多线程的并行加速

传统的渐进传输时间如图7所示。每个方格代表一个包在相应状态下的时间,即 T_{c_k} 代表第 k 个包压缩的时间, T_{r_k} 为第 k 个包传输的时间, T_{u_k} 为第 k 个包解压缩的时间, R 为总的包数。

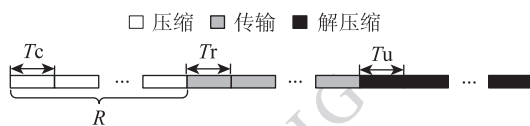


图7 单线程图像压缩渐进传输时间

Fig. 7 Single-thread image compression progressive transmission time

传统单线程的整个渐进传输时间 T_o 为

$$T_o = \sum_{k=1}^R T_{c_k} + T_{r_k} + T_{u_k} \quad (6)$$

多线程的实时压缩渐进传输时间如图8所示。由于压缩、传输与解压缩并行进行,所以时间有所隐藏。在不同运行环境中压缩、解压缩和网络传输速度不同,会导致压缩、解压缩时间与传输时间不同。

图8所示的线程运行时间情况是在 $T_c > T_r > T_u$ 的条件下产生的。一般情况下,压缩与传输并行所占总时间 T_{cr} 为

$$T_{cr} = T_{c_1} + T_{r_R} + \sum_{k=1}^{R-1} \max(T_{c_{k+1}}, T_{r_k}) \quad (7)$$

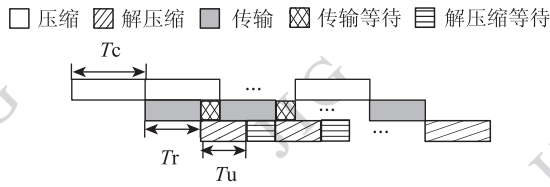


图8 多线程实时压缩渐进传输时间

Fig. 8 Multi-threads real-time compression progressive transmission time

传输与解压缩并行所占总时间 T_{ru} 为

$$T_{ru} = T_{r_1} + T_{u_R} + \sum_{k=1}^{R-1} \max(T_{c_{k+1}}, T_{r_{k+1}}, T_{u_k}) \quad (8)$$

压缩、传输、解压缩实际的时间则需要去掉在多线程并行执行时所隐藏的时间。因此,多线程实时压缩渐进传输的总时间 T_{cru} 为

$$T_{cru} = T_{cr} + T_{ru} - \left(T_{r_R} + \sum_{k=1}^{R-1} \max(T_{c_{k+1}}, T_{r_k}) \right) = T_{c_1} + T_{r_1} + T_{u_R} + \sum_{k=1}^{R-1} \max(T_{c_{k+1}}, T_{r_{k+1}}, T_{u_k}) \quad (9)$$

与传统的渐进传输方式相比,减少时间 T_p 为

$$T_p = T_o - T_{cru} = \sum_{k=1}^{R-1} [T_{c_{k+1}} + T_{r_{k+1}} + T_{u_k} - \max(T_{c_{k+1}}, T_{r_{k+1}}, T_{u_k})] \quad (10)$$

3 实验与结果分析

实验由两台计算机模拟服务端与客户端在局域网环境下进行。计算机环境为 CPU: Intel(R) Core(TM) i7-3820QM, 内存为 16.0 GB。服务端与客户端程序由 visual C++ 结合 MFC 可视框架在 Visual Studio 2010 下实现。图像索引数据库为 Microsoft SQL Server 2008。实验影像为预处理后某区域内全尺寸像素为 $32\,768 \times 32\,768$ 的 8 位灰度遥感影像(以下简称为全尺寸影像)。将全尺寸影像按照 ETM+ 遥感影像 1 景($8\,192 \times 8\,192$ 像素)的大小分成 16 块,如图 9 所示。实验中对每个分块影像进行处理。

3.1 渐进传输效果

通过实时压缩渐进传输,客户端可以实时地获得从遥感影像质量上逐渐清晰的遥感影像,每一层图像的效果图如图 10 所示。每层图像下方的散点

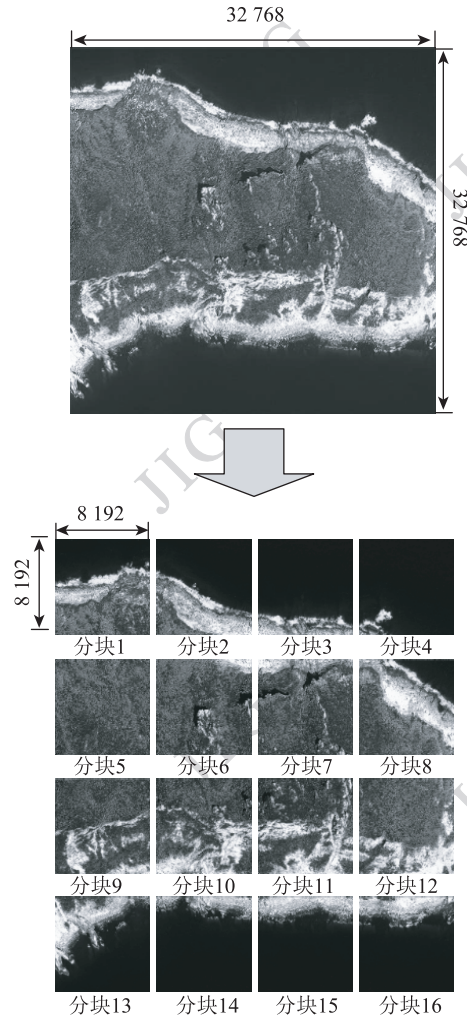


图9 遥感影像分块示意

Fig. 9 Schematic of remote sensing blocking

图为该层压缩图像与原图像抽样 1 000 个相同位置的相似度比较。由于图像为 8 位灰度图,则灰度数值为 $0 \sim 255$ 范围内的整数。若两图相似度高,则散点远离 $y = x$ 线,反之则散点会集中落在 $y = x$ 线的附近。从相似度可以看出,图像从第 1 层开始,逐层与原图相似度高,在视觉上直观体现为逐层清晰。

3.2 渐进影像的传输质量对比

为了对比渐进影像的传输质量,需将基于质量压缩与基于多分辨率压缩的渐进分层影像与原影像的相似度进行比较。计算基于质量压缩的 SPIHT 算法在渐进传输过程中产生的 8 层影像与原影像均方根相似度。将基于多分辨率压缩的 JPEG2000^[18] 算法在渐进传输过程中产生的 8 个分辨率影像向原影像尺寸作双三次插值变换放大,计算插值后的影像与原影像的均方根相似度。

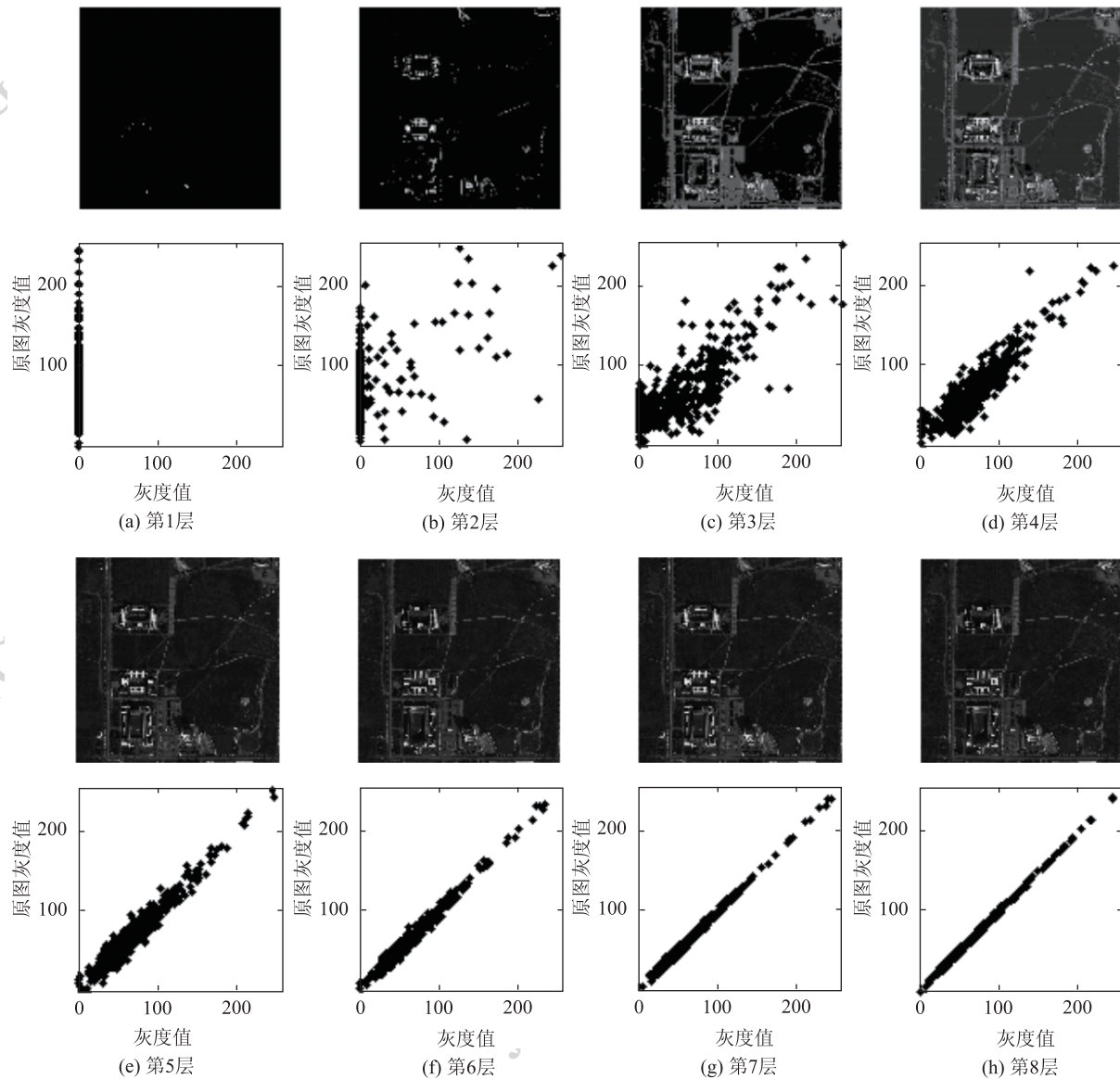


图 10 实时压缩渐进传输效果

Fig. 10 Effect of real-time compression progressive transmission

对比结果如图 11 所示。从第 2 层图像开始 SPIHT 压缩影像比 JPEG2000 压缩影像相似度高。在渐进显示 4 层过后, SPIHT 算法压缩影像与原影像的相似度能达到 90% 以上, 人眼几乎不能分辨其差别。所以在遥感影像渐进传输中使用 SPIHT 压缩算法会给用户更清晰的视觉效果。

3.3 渐进传输时间对比

在实时渐进传输实验中, 设定每个数据包中码流数据 L_p 的大小为 992 B, 根据式(3), 数据包大小 L 为 1 KB。由式(5)可得每个位平面的传输数据大小。分块影像各位平面单线程压缩渐进传输时间与多线程实时压缩渐进传输时间及加速比如表 1 所

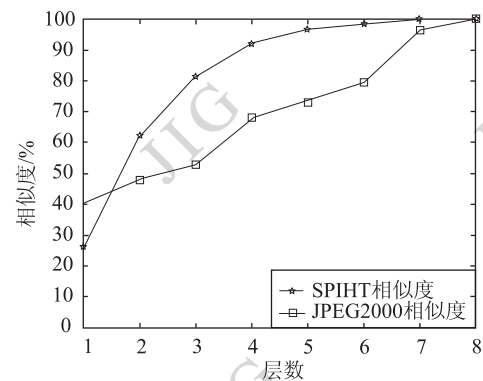


图 11 SPIHT 与 JPEG2000 压缩分层影像与原影像相似度对比

Fig. 11 Similarity comparison between compressed image and original image using SPIHT and JPEG2000 respectively

示。由于篇幅原因,表 1 中只给出分块影像编号为 1、8、10、16 共 4 组有代表性的分块影像实验数据。结合图 9 可以看出,分块 16 大部分被深色海洋覆盖,影像灰度分布简单,压缩时间较短,相对应加速倍数也较少。分块 8 与分块 10 大部分被陆地、植物覆盖,影像灰度较浅且内容较为复杂,压缩时间较长,相对应的加速效果优于平均水平。分块 1 中陆地与海洋面积相近,其加速倍数也临近平均加速倍数。因此多线程实时渐进传输加速效果与影像内容有关,影像内容的复杂度越高加速效果越明显。表 2 为全尺寸遥感影像各位平面单线程压缩渐进传输时间与多线程实时压缩渐进传输时间及加速比。其中全尺寸影像传输时间为各分块影像的传输时间之和。表 1 和表 2 中时间均为程序运行 10 次所记录时间的平均值。

全尺寸遥感影像多线程的实时压缩渐进传输与传统的单线程压缩渐进传输时间对比如图 12

所示。从图 12 中易看出,多线程实时压缩的各层渐进传输时间均有所减少。由于本实验在局域网络环境下进行,网速较快,在一般公网环境中,网络传输时间会成倍增加。从表 2 中不难看出,单线程渐进传输的解压缩时间与多线程实时压缩渐进传输的总时间接近,由于在逆 SPIHT 编码之后对图像重构以达到图像渐进效果,解压缩时间明显多于压缩和传输的时间。因此,在多线程实时渐进传输时间中,解压缩时间占据主导地位。同时,此结果也验证了式(10)的正确性。在加速方面,综合表 1、表 2,多线程实时渐进传输的加速比总体上逐层递增,最高加速倍数为 2.86 倍,总体加速 1.63 倍。实验结果表明,位平面越高,加速效果越明显,达到一定速度后,限于终端的运算与网络速度,加速效果趋于平稳。如果在异构网络环境中运用多线程实时压缩渐进传输,传输时间成为主导时间,加速效果会更加明显。

表 1 分块影像各位平面单线程压缩渐进传输与多线程实时压缩渐进传输时间
Table 1 Time of real-time progressive transmission of remote sensing image blocks based on multi-threads and single-thread progressive transmission

分块影像 编号	数据类别	层数								总数
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	码流数据大小/KB	226	459	690	933	1 194	1 558	2 269	5 320	12 649
	单线程渐进传输时间/ms	18 871	18 955	19 028	20 352	20 337	22 992	31 667	67 799	220 001
	多线程渐进传输时间/ms	16 755	17 535	14 835	14 539	14 258	15 195	16 349	25 007	134 473
	加速比	1.13	1.08	1.28	1.40	1.43	1.51	1.94	2.71	1.64
8	码流数据大小/KB	229	465	697	936	1 209	1 616	2 450	5 504	13 106
	单线程渐进传输时间/ms	19 683	21 149	18 940	22 876	21 159	25 993	37 220	71 637	238 657
	多线程渐进传输时间/ms	15 632	14 321	14 337	14 055	13 931	14 508	16 053	25 085	127 922
	加速比	1.26	1.48	1.32	1.63	1.52	1.79	2.32	2.86	1.87
10	码流数据大小/KB	227	463	697	935	1 217	1 656	2 588	5 889	13 672
	单线程渐进传输时间/ms	22 102	18 438	19 574	20 428	22 462	25 861	36 738	72 188	237 791
	多线程渐进传输时间/ms	15 694	16 490	14 758	13 978	15 023	15 007	17 066	25 709	133 725
	加速比	1.41	1.12	1.33	1.46	1.50	1.72	2.15	2.81	1.78
16	码流数据大小/KB	225	452	678	929	1 164	1 427	1 815	3 806	10 496
	单线程渐进传输时间/ms	18 496	17 854	19 099	21 157	21 169	21 450	26 531	52 042	197 798
	多线程渐进传输时间/ms	16 271	14 992	17 113	14 524	14 929	15 554	14 710	20 920	129 013
	加速比	1.14	1.19	1.12	1.46	1.42	1.38	1.80	2.49	1.53

表 2 全尺寸影像各位平面单线程压缩渐进传输时间与多线程实时压缩渐进传输时间
Table 2 Time of real-time progressive transmission of full size remote sensing image based on multi-threads and single-thread progressive transmission

数据类别	层数								总数
	1	2	3	4	5	6	7	8	
数据包数	3 617	7 311	10 998	14 902	19 011	24 570	35 011	77 642	193 062
数据大小/KB	3 617	7 311	10 998	14 902	19 011	24 570	35 011	77 642	193 062
单线程	压缩时间/ms	33 684	34 155	34 709	38 356	40 018	57 749	119 283	719 149
	传输时间/ms	12 586	25 789	38 875	54 462	65 673	82 656	124 772	684 893
	解压缩时间/ms	256 928	240 712	236 140	233 220	229 383	232 777	249 811	2 010 974
	总时间/ms	303 198	300 656	309 724	326 038	335 074	373 182	493 866	3 415 016
多线程 实时	时间/ms	256 389	249 961	240 694	241 660	231 941	240 673	257 337	2 097 272
	加速比	1.18	1.20	1.29	1.35	1.44	1.55	1.92	1.63

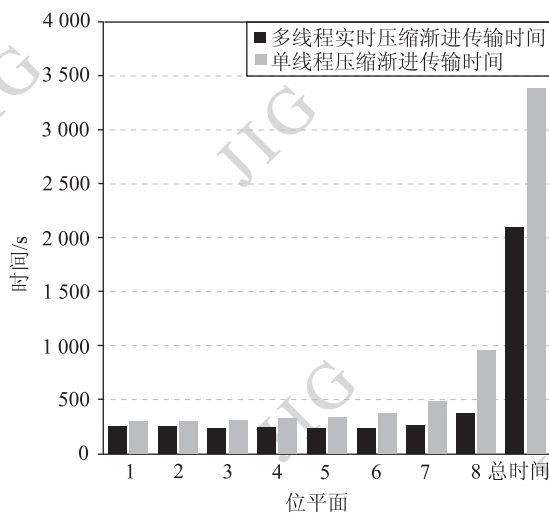


图 12 全尺寸遥感影像多线程实时渐进传输与单线程渐进传输时间对比

Fig. 12 Time comparison between real-time multi-threads progressive transmission and single-thread progressive transmission of full size remote sensing image

4 结 论

本文提出了一种异构网络环境下利用多线程并行流水线在线压缩—实时传输—实时解压缩的遥感影像渐进传输模型,此模型改变传统的渐进传输先压缩再传输,最后解压缩的单线程传输形式,实现了压缩、传输和解压缩多线程并行运行方式,克服因为带宽限制而造成的响应时间过长、客户端与服务端交互性差的问题。从压缩图像的效果看,改变了传

统的分辨率渐进的形式,使遥感影像以质量渐进的方式传输和显示,解决了多分辨率分层压缩各层次渐进效果不明显,获得清晰影像需等待传输层数较多的问题。实时压缩渐进传输模型提高了遥感影像传输与显示的效率和分层图像质量。由于多线程的加入,给两终端带来更大的负荷,在以后的研究中,需要协调多线程之间的调度与内存分配的优化,以达到更高的压缩、传输与解压缩效率。

参考文献 (References)

- [1] Childs H, Pugmire D, Ahern S, et al. Extreme scaling of production visualization software on diverse architectures [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2010, 30(3): 22-31. [DOI:10.1109/MCG.2010.51]
- [2] Zhang X C, Huang Z C, Chen G, et al. Rapid display technique of massive remote sensing image [J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(10): 1021-1026. [章孝灿, 黄智才, 陈刚, 等. 海量遥感图像快速显示技术[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(10): 1021-1026.] [DOI:10.11834/jig.2002010316]
- [3] Aherns J, Hendrickson B, Long G, et al. Data intensive science in the department of energy: case studies and future challenges [J]. Computing in Science & Engineering, 2011, 13(6): 14-23.
- [4] Johnson C, Ross R, Ahern S, et al. Visualization and knowledge discovery: report from the DOE/ASCR workshop on visual analysis and data exploration at extreme scale [R]. Salt Lake City, Utah, USA: Department of Energy Office of Science ASCR, 2007.
- [5] Tzou K H. Progressive image transmission: a review and comparison of techniques [J]. Optical Engineering, 1986, 26(7): 581-589. [DOI:10.1117/12.7974121]

- [6] Yang B S, Li B J. State-of-the-art of the progressive transmission of spatial data over the internet[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2009, 14(6): 1018-1023. [杨必胜, 李必军. 空间数据网络渐进传输的概念, 关键技术与研究进展[J]. *中国图象图形学报*, 2009, 14(6): 1018-1023.] [DOI: 10.11834/jig.20090604]
- [7] Ruiz V, Fernández J, Garcia I. Image compression for progressive transmission[J]. *Applied Informatics-Proceedings*, 2001, 1(1): 519-524.
- [8] Hu Y, Pearlman W A, Li X. Progressive significance map and its application to error-resilient image transmission[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2012, 21(7): 3229-3238. [DOI: 10.1109/TIP.2012.2190084]
- [9] Lay K T, Chou C Y, Wang L J. Unequally protected packet transmission of SPIHT-compressed images [J]. *International Workshop on Image Processing and Optical Engineering*, 2012, 8335(4): 15-17. [DOI: 10.1117/12.917572]
- [10] Dhara B C, Chanda B. A fast progressive image transmission scheme using block truncation coding by pattern fitting[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2012, 23(2): 313-322. [DOI: 10.1016/j.jvcir.2011.11.005]
- [11] Lim N K, Kim D Y, Lee H. Interactive progressive image transmission for realtime applications[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(4): 2438-2444. [DOI: 10.1109/TCE.2010.5681125]
- [12] Woodring J, Mniszewski S, Brislawn C, et al. Revisiting wavelet compression for large-scale climate data using JPEG 2000 and ensuring data precision[C]// *IEEE Symposium on Large Data Analysis and Visualization*. Rhode Island, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011: 31-38. [DOI: 10.1109/LDAV.2011.6092314]
- [13] Baeza I, Verdoy J A, Villanueva R J, et al. SVD lossy adaptive encoding of 3D digital images for ROI progressive transmission [J]. *Image and Vision Computing*, 2010, 28(3): 449-457. [DOI: 10.1016/j.imavis.2009.07.004]
- [14] Baeza I, Verdoy J A, Villanueva Oller J, et al. ROI-based procedures for progressive transmission of digital images: a comparison[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2009, 50(5): 849-859. [DOI: 10.1016/j.mcm.2009.05.014]
- [15] Chen Q h, Xie X f, Cao J, et al. Research of ROI image compression based on visual attention model [J]// *Proceedings of SPIE*, 2010, 7820: 1-8. [DOI: 10.1117/12.867516]
- [16] Zhang P, Wang R S. A survey of detecting regions of interest in a static image [J]. *Journal of Image and Graphic*, 2005, 10(2): 142-148. [张鹏, 王润生. 静态图像中的感兴趣区域检测技术[J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(2): 142-148.] [DOI: 10.11834/jig.20050229]
- [17] Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. *IEEE Transactions Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, 6(3): 243-250. [DOI: 10.1109/76.499834]
- [18] Rabbani M, Joshi R. An overview of the JPEG 2000 still image compression standard [J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2002, 17(1): 3-48. [DOI: 10.1016/S0923-5965(01)00024-8]