



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

中国图象学报 图形学报

2016
07
VOL.21

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



人脸图像处理 P865

中国图象图形学报

刊名题字：宋健 月刊（1996年创刊）



第21卷第7期（总第243期）

2016年7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
中文核心期刊

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 顾行发
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@radi.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

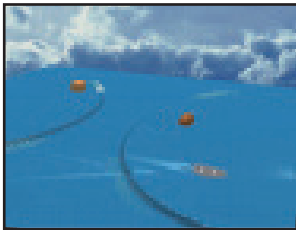
Editor-in-Chief Gu Xingfa
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics
P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China
Zip code 100101
E-mail jig@radi.ac.cn
Telephone 010-64807995
Website www.cjig.cn

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.

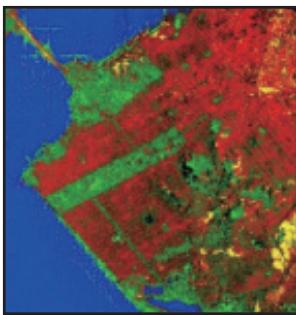
CN 11-3758/TB
ISSN 1006-8961
CODEN ZTTXFZ
国外发行代号 M1406
国内邮发代号 82-831
国内定价 60.00元



大规模柔体的连续碰撞检测算法(第901页)



大规模流体场景的真实感与实时模拟(第913页)



星载SAR影像上船舶方位向模糊去除算法(第951页)

图像处理和编码

低存储化压缩感知

王金铭, 叶时平, 徐振宇, 蒋燕君 835

3D-HEVC深度图像快速帧内编码方法

张洪彬, 伏长虹, 陈锐霖, 萧允治, 苏卫民 845

加权KNN的图文数据融合分类

康丽萍, 孙显, 许光鑫 854

结合肤色分割与平滑的人脸图像快速美化

邱佳梁, 戴声奎 865

图像分析和识别

级联型P-RBM神经网络的人脸检测

叶学义, 陈雪婷, 陈华华, 顾亚风, 吕秋云 875

结合全局与局部信息活动轮廓的非同质图像分割

郝智慧, 郭满才, 宋杨杨 886

计算机图形学

带参数的多项式势函数与构造基于Metaball的过渡曲线

李军成, 宋来忠, 刘成志 893

大规模柔体的连续碰撞检测算法

周清玲, 刘艳, 程天翔 901

虚拟现实与增强现实

大规模流体场景的真实感与实时模拟

邵绪强, 杨晓丹, 李继荣, 阎蕾 913

医学图像处理

形状约束下活动轮廓模型冠脉血管图像多尺度分割

郭笑妍, 梅雪, 李振华, 曹佳松, 周宇 923

遥感图像处理

深度置信网络在极化SAR图像分类中的应用

邓磊, 付姗姗, 张儒侠 933

高光谱图像低秩表达与噪声水平估计

唐中奇, 付光远, 赵晓林, 陈进, 张利 942

星载SAR影像上船舶方位向模糊去除算法

邴磊, 邢前国, 邹娜娜, 李圳波, 吴樊 951

TDFA: 一种生成空间影像金字塔的方法

张云舟, 张陌, 王晋年, 张刚 959

无人机侦察视频超分辨率重建方法

张岩, 李建增, 李德良, 杜玉龙 967

CONTENTS

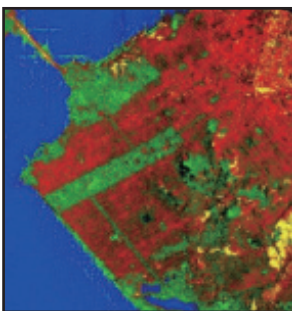
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Continuous collision detection algorithm for large-scale deformable objects (P901)



Realistic and real-time simulation of large-scale fluids (P913)



Application of deep belief network in polarimetric SAR image classification (P951)

Image Processing and Coding

- Reducing the storage space of the measurement matrix for compressive sensing
Wang jinming, Ye shiping, Xu zhenyu, Jiang yanjun 835
- Fast intra coding for depth map in 3D-HEVC
Zhang Hongbin, Fu Changhong, Chan Yuilam, Siu Wanchi, Su Weimin 845
- Fusion method via KNN with weight adjustment for the classification of image-text co-occurrence data
Kang Liping, Sun Xian, Xu Guangluan 854
- Fast facial beautification algorithm based on skin-color segmentation and smoothness
Qiu Jialiang, Dai Shengkui 865

Image Analysis and Recognition

- Cascaded probability state-restricted Boltzmann machine for face detection
Ye Xueyi, Chen Xueting, Chen Huahua, Gu Yafeng, Lyu Qiuyun 875
- Inhomogeneous image segmentation based on active contours with global and local information
Hao Zihui, Guo Mancai, Song Yangyang 886

Computer Graphics

- The polynomial potential function with a parameter and transition curve based on Metaball technology
Li Juncheng, Song Laizhong, Liu Chengzhi 893
- Continuous collision detection algorithm for large-scale deformable objects
Zhou Qingling, Liu Yan, Cheng Tianxiang 901

Virtual Reality and Augmented Reality

- Realistic and real-time simulation of large-scale fluids
Shao Xuqiang, Yang Xiaodan, Li Jirong, Yan Lei 913

Medical Image Processing

- Multi-scale segmentation of coronary artery image based on active contour model with shape constraints
Guo Xiaoyan, Mei Xue, Li Zhenhua, Cao Jiasong, Zhou Yu 923

Remote Sensing Image Processing

- Application of deep belief network in polarimetric SAR image classification
Deng Lei, Fu Shanshan, Zhang Ruxia 933
- Low-rank representation for hyperspectral image noise level estimation
Tang Zhongqi, Fu Guangyuan, Zhao XiaoLin, Chen Jin, Zhang Li 942
- Azimuth ambiguity removal method for ship detection based on spaceborne SAR images
Bing Lei, Xing Qianguo, Zou Nana, Li Zhenbo, Wu Fan 951
- TDFA: a generation method of spatial image pyramid
Zhang Yunzhou, Zhang Mo, Wang Jinnian, Zhang Gang 959
- Super-resolution reconstruction for UAV video
Zhang Yan, Li Jianzeng, Li Deliang, Du Yulong 967

中图法分类号: TP751.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2016)07-959-08

论文引用格式: Zhang Y Z, Zhang M, Wang J N, Zhang G. TDFA: a generation method of spatial image pyramid[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(7): 959-966. [张云舟, 张陌, 王晋年, 张刚. TDFA: 一种生成空间影像金字塔的方法[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(7): 959-966.] [DOI: 10. 11834/jig. 20160714]

TDFA: 一种生成空间影像金字塔的方法

张云舟¹, 张陌¹, 王晋年², 张刚¹

1. 太原理工大学, 太原 030024; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100080

摘要: 目的 降采样滤波是生成空间金字塔影像数据的主要手段,但目前没有一种客观指标来鉴别滤波器的降采样效果,因为至少需要空间金字塔的两层原始信号才能计算滤波器的降采样峰值信噪比(PSNR)。为解决此难题,本文建立一种研究路线:先基于视频影像数据评选确定一个性能优秀的降采样滤波器,然后验证该滤波器降采样生成遥感金字塔的主观目视效果,提出一种沿图像纹理方向滤波的降采样方法 TDFA(texture direction filtering approach),可生成高质量的空间影像金字塔。**方法** 本文把降采样与升采样结合提出一种重采样滤波对偶 RSFP(re-sampling filter pair),作为当前层金字塔数据的一个逼近,用来评价降采样滤波器效果。基于 RSFP 评价手段,筛选出一种基于纹理滤波的金字塔生成方法 TDFA:对每个 8×8 块,TDFA 在直流、水平、 135° 、垂直和 45° 等 5 个方向中搜索确定图像的一个纹理方向,用一个 3 阶滤波器沿纹理方向实施降采样,效果优于目前最好的最邻近插值方法,无任何伪彩、锯齿、块效应或马赛克。**结果** 利用大量影像数据实验,同几个典型滤波器的降采样效果对比,TDFA 提升平均 PSNR 的范围,对拉格朗日滤波器是 $7.29 \sim 8.44$ dB;对双线性滤波器是 $6.26 \sim 7.40$ dB;对 AVS 的 $1/4$ 插值滤波器是 $5.80 \sim 6.84$ dB;对最邻近插值是 $4.51 \sim 5.70$ dB。**结论** 本文提出的纹理滤波降采样算法可以生成质量优于现有最好水平的遥感金字塔影像,也可以生成高质量的多层视频流媒体数据。所提出的重采样滤波对偶 RSFP 可以输出当前层的高精度预测,用于可伸缩视频编码处理。

关键词: 影像金字塔;降采样;升采样;重采样滤波对偶;纹理滤波;滤波器评选

TDFA: a generation method of spatial image pyramid

Zhang Yunzhou¹, Zhang Mo¹, Wang Jinnian², Zhang Gang¹

1. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract: Objective Currently, downsampling filtration is the main method of generating a spatial image pyramid data, but any objective indicator has not occurred to evaluate the effect of a downsampling filter because calculating the filter's downsampling PSNR requires at least two layers of original data of a spatial pyramid. This study establishes the research technology roadmap of solving this problem; based on two-layer original signals of video image data, an excellent performance downsampling filter was discovered and identified and the subjective visual effect of its generation of the remote-sensing pyramid was verified. Finally, we proposed a downsampling method of filtering along the image texture direction to generate a

收稿日期:2015-12-21;修回日期:2016-03-08

基金项目:山西省自然科学基金项目(2013011017-3)

第一作者简介:张云舟(1990—),男,太原理工大学电路与系统专业博士研究生,主要研究方向为遥感信息处理和云存储技术。

E-mail:170737538@qq.com

通信作者:张刚,教授,博士生导师,E-mail:tyzhgang@163.com

Supported by: Natural Science Foundation of Shanxi Province, China (2013011017-3)

high-quality spatial pyramid image. **Method** Downsampling and upsampling were presented to have been combined to form a pair of resampling filters, as RSFP served as an approximation of the current layer data of pyramids, which can be used to evaluate the downsampling filtering effect. Based on RSFP, a novel pyramid-generating approach TDFA was established. For each 8×8 block, TDFA searches to determine the one-texture orientation of the image from five directions, i. e., DC, horizontal, 135° , vertical, and 45° , and filters along the texture direction implementation of downsampling with a three-order filter, with its effect better than the currently best nearest neighbor interpolation, and the pseudo color, zipper, mosaic, or block effect does not exist. **Result** Experimentation and comparison of effect using a large quantity of image data with several typical downsampling filters, the increasing range of average PSNR by TDFA, was approximately 7.29 dB to 8.44 dB for the Lagrange filter; approximately 6.26 dB to 7.40 dB for the bicubic filter; approximately 5.80 dB to 6.84 dB for AVS's 1/4 interpolation filter; and approximately 4.51 dB to 5.70 dB for the nearest neighbor interpolation method. **Conclusion** This study proposed a type of texture-filtering algorithm TDFA. This algorithm can be used to generate the remote sensing pyramid, with its quality better than the level of the existing best generation method, and can also be used to generate a high-quality multilayer video-streaming media data. The proposed resampling filtering pair RSFP can output the high-precision prediction of the current layer of the pyramid used for a scalable video-encoding process.

Key words: image pyramid; down-sampling; up-sampling; re-sampling filter pair; texture filtering; evaluation of filter

0 引言

高分辨率遥感数据仅提供了金字塔的最底层数据,其他各层数据由计算机降采样处理产生,降采样滤波器性能决定了金字塔数据的质量。选择何种滤波器结构,或者对于一个确定的结构如何优化滤波器参数,不仅涉及大量的实验,而且需要一个代价函数作为评价滤波器性能的客观指标。但是迄今为止,任何评价图像质量的客观指标(例如峰值信噪比 PSNR)均无法用在生成金字塔影像数据的场合:计算机生成的金字塔各层数据不是原始采样信号,不能作为依据计算降采样信噪比。于是出现一个问题,使得任何试图利用大量数据通过实验来选择降采样滤波器结构并优化其参数的努力,都难以获得成功。所幸的是,从视频编码官方网站容易得到同一个视频流 D1 和 CIF 两种格式严格同步的原始数据,本文建立一种研究路线:先基于视频影像数据评选确定一个性能优秀的降采样滤波器,然后验证该滤波器降采样生成遥感金字塔的主观目视效果,提出一种沿图像纹理方向滤波的降采样方法 TDFA (texture direction filtering approach),可生成高质量的空间影像金字塔。

1976 年 Klinger 和 Dyer 首次提出在经度和纬度上分别进行 $1/2$ 抽样^[1],形成等间隔空间划分的全球金字塔层次表示模型;1990 年 Fekete 改进算法,用球面二叉树来检索全球地形空间数据^[2]。地球

的空间金字塔层次表示模型建立了地球空间信息的全球剖分格网,这是一种可无限细分的、拟合地球表面的、具有无缝性和层次性的格网单元集合,有柏拉图立体剖分^[3],经纬度剖分^[4],以及自适应格网剖分三大类^[5],为地球空间信息提供一种变尺度可伸缩的可视化表现。

可伸缩图像处理原理是,根据离散的像素信息建立一个连续曲面作为真实图像的逼近,然后重采样这个逼近函数产生不同于原始图像尺寸的另外一个像素集^[6]。重采样后生成总像素减少的图像为降采样,反之是升采样。目前可伸缩图像处理的典型算法有最邻近插值或称为隔点抽取算法 IE (interval extraction),双线性滤波^[7-8],双三次滤波^[9]以及拉格朗日滤波等^[10],H.264 可伸缩编码的降采样滤波器是 sinc 窗函数^[11]。经验认为高阶滤波器降采样效果更好^[12],这对图像纹理平滑的低频成分确定无疑的,但是高阶滤波也会损害图像的高频成分,产生伪彩、锯齿或块效应^[13-14]。滤波后需通过边缘检测确定高频区域,然后进行去块滤波和伪彩抑制等复杂处理^[15-17]。低阶滤波适用于图像的高频区域,且不需复杂的后处理,但在纹理平滑的低频图像区域,低阶滤波会引入较大的信噪比衰减。

利用大量视频数据对比多种典型滤波器结构,通过实验筛选确定出一种基于纹理方向滤波的 TDFA 降采样滤波器。TDFA 依据影像纹理特征确定滤波方向,确保高频滤波收益的同时对低频成分也有理想的降采样 PSNR。经 5 个纹理方向实验,3 阶

T DFA 滤波器降采样 PSNR 高出目前最好结果(IE 算法)4.51 ~ 5.70 dB。实验表明 T DFA 降采样生成的金字塔,对各层原始影像是十分理想的逼近。

1 滤波器评选

评选滤波器需要金字塔至少两层原始影像数据,获取这样遥感数据十分困难。H. 264 或 AVS (audio video coding standard) 官方网站提供了严格同步的 D1 和 CIF (common intermediate format) 格式原始影像数据。它们产生于同一模拟电影胶片,严格同步地进行两次不同分辨率采样。先使用流媒体实验数据进行研究,选取 crew、harbor 和 ice 等 3 个码流,每个码流有 D1 和 CIF 两个版本,各取 200 帧数据,D1 和 CIF 格式数据各计 600 帧。评选确定降采样滤波器后,再用遥感影像数据验证。

1.1 重采样滤波器对偶

“降采样 + 升采样”的重采样滤波对偶 RSFP (re-sampling filter pair) 原理如图 1 所示。卫星遥感数据仅提供了当前层的原始影像数据 $P(n)$,对其降采样可生成高一层影像数据 $P(n+1)$,升采样 $P(n+1)$ 获得当前层原始影像的预测 $P'(n)$,而残差 $E(n) = P(n) - P'(n)$,可用来计算信号 $P(n)$ 和 $P'(n)$ 之间的信噪比。

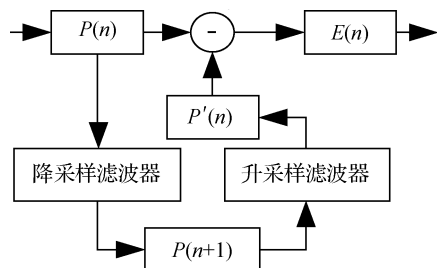


图1 滤波器对偶原理示意图

Fig. 1 The structure principle of filter pair

但是,由图 1 得到的信噪比源于降采样和升采样两个过程,还不能真正代表降采样滤波效果。当比较两个降采样滤波器效果时,固定选用相同的升采样滤波器,使信噪比变化主要体现降采样滤波性能。类似地,在比较两个升采样滤波器时,需固定选用相同的降采样滤波器。

1.2 升采样滤波器

首先进行 CIF 格式到 D1 格式的升采样处理。比较的滤波器有双三次、拉格朗日、AVS 的 1/2 插值和 1/4 插值以及 H. 264 的 1/2 插值。滤波器阶数,

双三次为 3 阶,H. 264 的 1/2 插值滤波器为 6 阶,其余均为 4 阶,升采样 PSNR 结果列在表 1,分别给出每个码流滤波结果的亮度(Y),色差(U 和 V)和均值数据。

表 1 升采样性能 PSNR 对比

Table 1 Performances comparison of PSNR up-sampling

| | | /dB | | | | |
|--------|------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Data | Term | Bicubic | AVS (1/4) | Lag-range | AVS (1/2) | H. 264 (1/2) |
| Crew | Y | 32.44 | 34.52 | 36.16 | 36.47 | 36.65 |
| | U | 41.97 | 44.18 | 45.43 | 45.54 | 45.65 |
| | V | 40.11 | 43.86 | 46.47 | 46.71 | 46.97 |
| | 均值 | 38.17 | 40.86 | 42.69 | 42.91 | 43.09 |
| Harbor | Y | 25.58 | 28.15 | 30.65 | 31.16 | 31.48 |
| | U | 43.98 | 45.51 | 46.59 | 46.73 | 46.84 |
| | V | 46.76 | 48.55 | 49.95 | 50.11 | 50.25 |
| | 均值 | 38.77 | 40.73 | 42.39 | 42.66 | 42.86 |
| Ice | Y | 32.13 | 34.48 | 35.96 | 36.19 | 36.33 |
| | U | 46.04 | 48.42 | 49.86 | 50.03 | 50.16 |
| | V | 42.13 | 44.98 | 46.83 | 47.04 | 47.21 |
| | 均值 | 40.10 | 42.63 | 44.22 | 44.42 | 44.57 |

总体上,升采样滤波器阶数越高,滤波效果越好。在同为 4 阶的 3 个升采样滤波器中,AVS 的 1/2 插值滤波器升采样效果最好,且与 6 阶的 H. 264 的 1/2 插值滤波器相比,差别不明显。

1.3 降采样滤波器

D1 数据降采样到 CIF 格式,选用最邻近插值、双线性、拉格朗日和 AVS 的 1/4 插值 4 个滤波器测试,表 2 是降采样结果的对比。

表 2 降采样效果 PSNR 对比

Table 2 Effect comparison of down-sampling

| | | /dB | | | |
|--------|------|-------|-----------|-----------|----------|
| Data | Term | IE | Bi-linear | Lag-range | AVS(1/4) |
| Crew | Y | 37.08 | 35.95 | 34.91 | 36.70 |
| | U | 45.98 | 45.08 | 44.34 | 46.07 |
| | V | 47.43 | 42.92 | 42.22 | 43.12 |
| | 均值 | 43.50 | 41.31 | 40.49 | 41.96 |
| Harbor | Y | 32.17 | 28.84 | 28.02 | 29.38 |
| | U | 47.15 | 46.81 | 45.96 | 47.97 |
| | V | 50.62 | 49.04 | 47.60 | 48.70 |
| | 均值 | 43.31 | 41.56 | 40.53 | 42.02 |
| Ice | Y | 36.70 | 35.70 | 34.66 | 36.45 |
| | U | 50.69 | 48.96 | 48.05 | 49.74 |
| | V | 47.59 | 45.23 | 44.04 | 45.37 |
| | 均值 | 44.99 | 43.29 | 42.25 | 43.85 |

从表2看出,AVS的1/4插值滤波器虽然升采样效果并不理想,但是降采样表现十分出色,PSNR平均值超过拉格朗日滤波器1.5 dB以上。可见同一个滤波器用于降采样或升采样,性能可能完全不同。4阶的拉格朗日降采样滤波的效果不如2阶的双线性滤波,说明滤波器阶数不能决定降采样效果。从表2看出,IE算法降采样效果最好,3组测试数据PSNR平均值在43.31~44.99 dB之间,均高于其他3个滤波器,其原因将在第2.3节详细分析。

2 金字塔生成

H.264和AVS帧内预测算法通过搜索预测模式可以确定一个8×8像素块的纹理方向。当前的重采样技术,无论降采样或升采样,滤波处理都忽略了图像的纹理特征。提出一种新的金字塔生成方法:先确定一个8×8块的纹理方向,然后沿着纹理方向实施降采样,称作纹理方向滤波T DFA。

2.1 T DFA 滤波方法

以亮度信号为例阐述T DFA的基本原理。对每个8×8块,T DFA在直流、水平、135°、垂直和45°这5个方向中搜索确定一个滤波方向。搜索纹理方向时,距离指标采用绝对差值之和SAD(sum absolute difference)。对于2个不同的8×8块 x 和 y ,其SAD距离为

$$SAD(x, y) = \sum_{ij} |x_{ij} - y_{ij}|$$

计算一个8×8块 x 与其邻近5个块(图2中的A、B、C、D、E)的SAD距离。其中块E由块A和块C对应像素加权平均生成,它反映一种无方向的纹理。若最小距离分别为块A、B、C、D、E,则块 x 纹理方向对应着水平、135°、垂直、45°或直流,在块 x 内部按照纹理方向实施降采样。

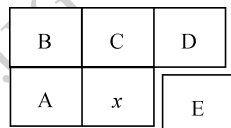


图2 块 x 与邻近块A B C D E关系

Fig. 2 The relation between x and the neighbor A B C D E

在一幅图片中,一个8×8块 x 可以处于图3的4个不同位置的一种。搜索区域0xff的块 x 不存在任何问题。对边界区域0x00,0x0f和0xf0内部的块 x ,有可能缺失部分参考块。条件允许时尽可能用边

界扩展的方式补足参考块,或者对0xff以外的区域采用最邻近插值算法降采样。

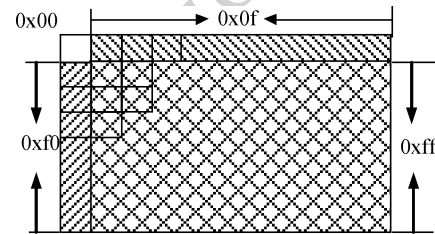


图3 块 x 的位置

Fig. 3 The position of a block x

确定一个8×8块的纹理方向后,在其内部用一个3阶滤波器降采样处理。参与滤波的样点包括像素自身,另外2个样点确定方法如下:

- 1) 水平纹理:左边和右边各1个像素;
- 2) 垂直纹理:上边和下边各1个像素;
- 3) 直流纹理:左边和上边各1个像素;
- 4) 135°纹理:上1行左侧和正下方各1个像素;
- 5) 45°纹理:上1行右侧和正下方各1个像素。

T DFA先在纹理方向上将块 x 尺寸压缩1/2,然后以隔行抽取或隔列抽取的方式,压缩块 x 到目标尺寸。对之前的3组实验数据Crew、Harbor和Ice,T DFA滤波器的降采样效果列在表3。

表3 T DFA 降采样效果 PSNR
Table 3 Effect of T DFA down-sampling

| | /dB | | |
|------|-------|--------|-------|
| Term | Crew | Harbor | Ice |
| Y | 42.62 | 37.10 | 43.03 |
| U | 51.17 | 52.16 | 55.77 |
| V | 50.28 | 54.20 | 53.28 |
| 均值 | 48.02 | 47.82 | 50.69 |

从表3可以看出T DFA降采样性能十分出色:对于色度信息,所有测试序列的降采样PSNR均在50 dB以上,最高可达55.77 dB。T DFA提升平均PSNR的范围,对拉格朗日滤波是7.29~8.44 dB;对双线性滤波是6.26~7.40 dB;对AVS的1/4插值滤波是5.80~6.84 dB;对最邻近插值是4.51~5.70 dB。

T DFA提升亮度信号质量的效果最为突出。考察测试码流Harbor,表2的4个降采样滤波器亮度PSNR在28.02~32.17 dB之间,T DFA的亮度PSNR为37.10 dB,有4.93~9.08 dB的改善。这

一特点十分有用,决定了 TDFA 处理灰度图像的明显优势。

2.2 TDFA 性能分析

表 1 的 5 个传统滤波器升采样的处理对象是原始 CIF 格式信号,考察它们对 TDFA 降采样后的 CIF 数据升采样处理的效果。TDFA 分别同这 5 个传统滤波器组成 5 个降采样 + 升采样的滤波对偶,然后与 D1 的原始信号计算信噪比,其结果与表 1 的对应元素作差,列在表 4 中。

表 4 针对 TDFA 降采样数据的升采样效果 PSNR

Table 4 Effect of up-sampling based on TDFA down-sampling

| Data | Term | Bicubic | AVS (1/4) | Lag-range | AVS (1/2) | H. 264 (1/2) |
|--------|------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Crew | Y | 0 | 0.17 | -0.05 | -0.23 | -0.17 |
| | U | 0.22 | 0.34 | 0.37 | 0.25 | 0.22 |
| | V | 0.10 | 0.41 | 0.32 | -0.15 | 0.04 |
| | 均值 | 0.10 | 0.36 | 0.25 | -0.04 | 0.05 |
| Harbor | Y | -0.01 | 0.25 | 0.01 | -0.58 | -0.52 |
| | U | 0.36 | 0.36 | 0.48 | 0.5 | 0.52 |
| | V | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.09 | 0.19 |
| | 均值 | 0.20 | 0.28 | 0.24 | 0.03 | 0.07 |
| Ice | Y | -0.06 | 0.09 | -0.03 | -0.3 | -0.17 |
| | U | 0.92 | 1.25 | 1.61 | 1.60 | 1.69 |
| | V | -0.08 | -0.01 | -0.19 | -0.43 | -0.33 |
| | 均值 | 0.26 | 0.45 | 0.47 | 0.03 | 0.40 |

表 4 的绝大多数元素值在 1 dB 之下,个别值超出 1 dB 但最多不超过 2.5 dB。也就是说,如果用同样的滤波器分别升采样处理两组信号,一组是原始 CIF 信号,另一组是用 TDFA 降采样处理 D1 原始信号后得到的 CIF 信号,其结果几乎没有差别。特别地,亮度信息是反映人眼视觉效果的主要因素,表 4 的 15 个亮度差值全部小于 0.25 dB,超过 0.1 dB 的有 2 个,占比低于 13%,其中负值有 10 个,说明在对 D1 原始亮度信息的逼近程度上,67% 的测试结果支持下面的结论:基于 TDFA 降采样信号,所述升采样效果胜过基于物理采样的原始信号。至少说明 TDFA 降采样后的数据与原始信号的差别不十分明显。TDFA 降采样滤波生成的金字塔,对各层原始

影像是十分理想的逼近。

2.3 确定 RSFP

先确定 RSFP 的升采样滤波器,从表 1 知 AVS 和 H. 264 的 1/2 插值滤波器升采样效果较好,其阶数分别为 4 和 6 阶,滤波系数分别为 $(-1, 5, 5, -1)/8$ 和 $(1, -5, 20, 20, -5, 1)/32$,中心滤波系数均为 $5/8$ 。AVS 的两端滤波系数 $-1/8$,在 H. 264 中被拆分成 $1/32$ 和 $-5/32$,分配给 2 个滤波像素。表 4 中负号最多的列是 AVS 的 1/2 插值滤波器,表明如果用 AVS 插值滤波器升采样逼近 D1 原始信号,TDFA 降采样的数据在更多的方面会优于原始信号。并且 4 阶滤波器的计算复杂性更低,因此选择 AVS 的 1/2 插值滤波器升采样,与 TDFA 降采样滤波器组成一个重采样滤波对偶 RSFP。

然后,用 AVS 的 1/2 插值滤波器同 TDFA 以及表 2 的 4 个降采样滤波器分别组成 5 个重采样滤波对偶,比较结果列在表 5 中。

表 5 5 个重采样滤波器逼近 D1 数据的效果 PSNR

Table 5 5 RSFP's approximation effects of D1 data

| Data | Term | TDFA | Near-est | Bi-linear | Lag-range | AVS (1/4) |
|--------|------|-------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Crew | Y | 36.70 | 37.13 | 33.97 | 33.79 | 33.97 |
| | U | 45.29 | 44.86 | 42.94 | 42.89 | 43.24 |
| | V | 46.86 | 47.23 | 41.89 | 41.56 | 41.78 |
| | 均值 | 42.95 | 43.07 | 39.60 | 39.41 | 39.66 |
| Harbor | Y | 31.74 | 33.75 | 27.69 | 27.56 | 27.58 |
| | U | 46.23 | 47.03 | 44.75 | 44.81 | 44.98 |
| | V | 49.92 | 50.85 | 47.52 | 46.79 | 46.73 |
| | 均值 | 42.63 | 43.88 | 39.98 | 39.72 | 39.76 |
| Ice | Y | 36.46 | 36.07 | 33.67 | 33.44 | 33.71 |
| | U | 48.43 | 49.84 | 47.20 | 47.04 | 47.39 |
| | V | 47.47 | 47.10 | 43.71 | 43.11 | 43.37 |
| | 均值 | 44.12 | 44.34 | 41.53 | 41.19 | 41.49 |

除最邻近插值外,本文的 TDFA 滤波器层间预测效果最好,其余重采样滤波对偶的层间预测结果与各自降采样滤波器的性能一致。

虽然 IE 算法降采样效果远低于 TDFA,但是用同一个滤波器升采样后,PSNR 却高于 TDFA,亮度

PSNR 差别范围在 $-0.39 \sim 2.01$ dB, 平均 PSNR 在 $0.12 \sim 1.25$ dB。其原因在于: 最邻近插值通过隔点抽取 D1 图像的像素产生 CIF 图像, 这种 CIF 图像与 D1 图像的像素重合比例为 $1/4$ 。尽管 CIF 层降采样效果不如 TDFA, 但是升采样图像中有 25% 的像素信噪比超高, 拉升 PSNR 平均值的作用明显。但下面的实验说明, 最邻近插值的这一特点随着金字塔层数的增加, 将不复存在。

分别用 TDFA 和最邻近插值滤波器降采样处理一幅 $2^{11} \times 2^{11}$ 尺寸的遥感影像直到 6 层, 然后从每一层开始, 用 AVS 的 $1/2$ 插值滤波器多次升采样到原始信号层并计算 PSNR, 结果如表 6 所示。

表 6 多层 RSFP 滤波效果 PSNR 对比

| Layer | TDFA | Nearest | Δ |
|------------------------------|-------|---------|----------|
| 2 ($2^{10} \times 2^{10}$) | 38.30 | 38.70 | -0.40 |
| 3 ($2^9 \times 2^9$) | 33.26 | 32.97 | 0.29 |
| 4 ($2^8 \times 2^8$) | 30.65 | 29.81 | 0.84 |
| 5 ($2^7 \times 2^7$) | 29.15 | 28.06 | 1.09 |
| 6 ($2^6 \times 2^6$) | 28.21 | 26.96 | 1.25 |

从表 6 看出, 随着层数增加, 用最邻近插值滤波器组成的 RSFP 重采样滤波的效果越来越差, 重采样 PSNR 到第 6 层时, 与 TDFA 的 RSFP 相比, 大约低 1.25 dB。

由于 TDFA 有良好的降采样性能, 组成的 RSFP

处理多层重采样适应性更强, 本文选择 TDFA 作为重采样滤波对偶 RSFP。

3 实验与结果

观察本文的 TDFA 降采样滤波器的主观质量并与目前降采样效果最好的 IE 算法对比。分别用最邻近插值方法和 TDFA 方法降采样一幅 $2^{11} \times 2^{11}$ 尺寸的遥感影像, 生成尺寸分别为 $2^{10} \times 2^{10}$, $2^9 \times 2^9$, \dots , $2^6 \times 2^6$ 总计 6 层金字塔影像, 分别记作 Layer1024-IE 和 Layer1024-TDFA, \dots , 等。图 4 是从原始影像中裁剪出的 $2^9 \times 2^8$ 尺寸的图像, 图 5 是从 Layer1024 和 Layer512 分别裁剪出的 $2^8 \times 2^8$ 尺寸图像, 从 Layer256 层开始, 已经与 $2^{11} \times 2^{11}$ 尺寸的整幅遥感影像完全对应。

从图 5 可以看出, TDFA 降采样效果明显优于最邻近插值算法, 即使降采样到 Layer64 层, 其纹理依然清晰。最邻近插值算法引入大量的伪彩和马赛克, 并且伪彩和马赛克随着层数的增加呈加剧的趋势, 到 Layer256 层已经对影像纹理的观察效果产生了难以容忍的影响。

用本文提出的 RSFP 重采样滤波处理上述 6 层图像的每一层, 得到各层图像升采样后对最底层原始信号的近似, 并与原始层信号计算 PSNR (表 6)。从表 6 可以看出, TDFA 的定量指标从第 3 层开始高于 IE 算法, 到第 6 层时高出 1.25 dB。



图 4 原始影像图片 Layer2048 的一个 $2^9 \times 2^8$ 部分

Fig. 4 A $2^9 \times 2^8$ part of original image picture

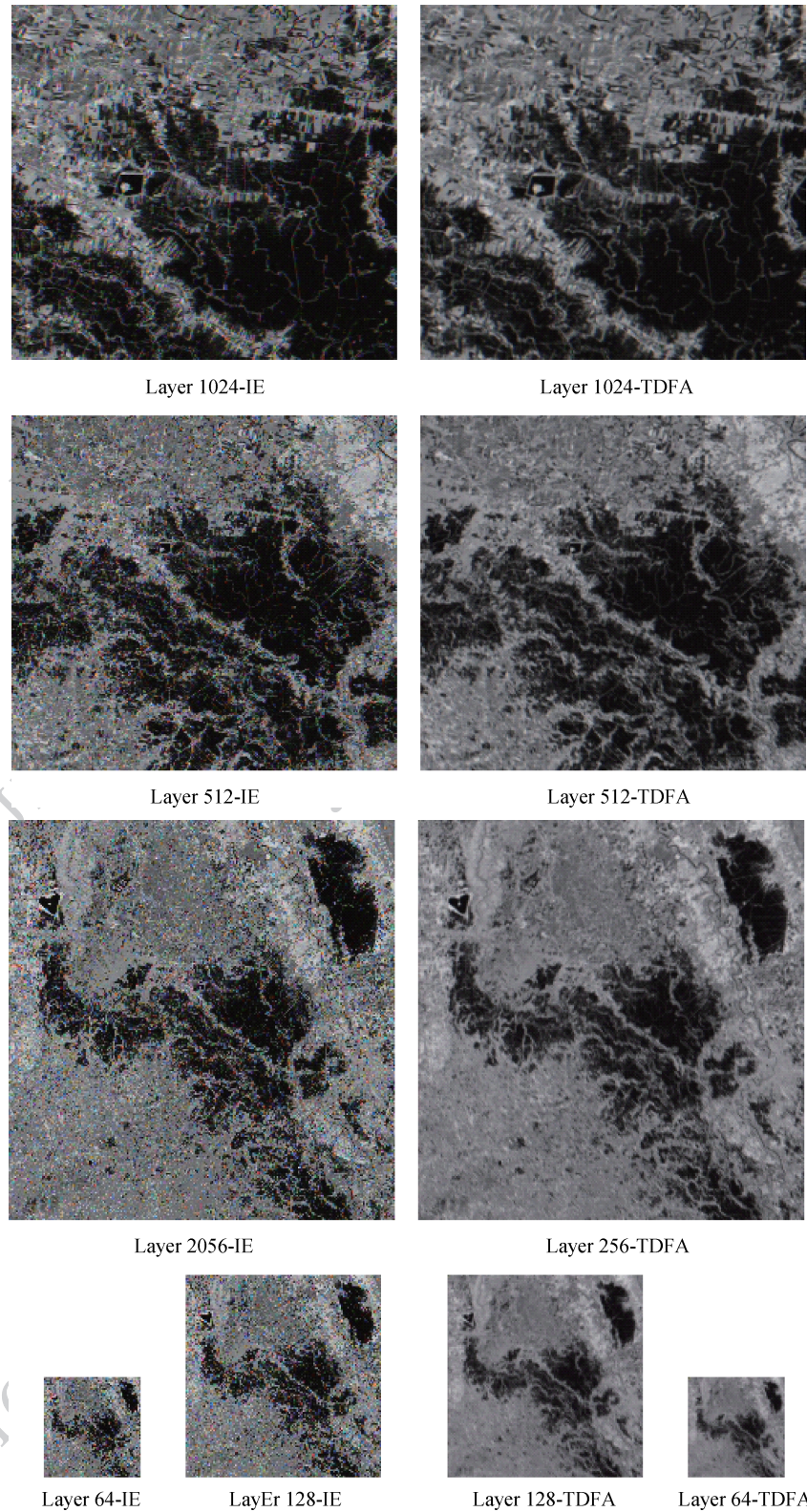


图5 TDFA 与最邻近插值降采样效果对比

Fig. 5 Comparisons of results of IE and TDFA down-sampling

4 结论

本文提出重采样滤波对偶 RSFP 的概念, 利用

RSFP 建立了影像金字塔数据质量的评价方法。基于该方法评选出一组生成遥感空间影像金字塔的高性能滤波器对偶 RSFP, 该 RSFP 的降采样部分采用本文提出的纹理方向滤波 TDFA, 升采样部分采用

AVS 的 1/2 插值滤波器。生成金字塔图像 PSNR 高于最邻近插值 4.51 ~ 5.70 dB。

经 RSFP 滤波的金字塔影像数据是对自身的一个高精度预测,相应的残差能量极低,十分有利于压缩。基于重采样滤波对偶 RSFP,可以建立一种新型的整体压缩金字塔影像数据的算法框架:利用纹理滤波 TDFA 消除金字塔数据的层内纹理相关,类似于 H.264 或 AVS 的帧内压缩;通过层间 RSFP 滤波去除金字塔数据的层间相关,相当于 H.264 或 AVS 的帧间压缩,可预期收到好的压缩效果。

TDFA 降采样滤波器性能仍有很大提升空间。这里的 TDFA 降采样滤波器,在一个 8×8 像素块中搜索 5 个纹理方向,可以选择更小如 4×4 像素块进行搜索,或者选择更多的搜索方向(H.265 和 AVS2 有 33 个搜索方向)^[18-19],有望得到更精细的纹理表现,这会进一步改善 TDFA 的降采样效果。

参考文献 (References)

- [1] Klinger A, Dyer C R. Experiments on picture representation using regular decomposition[J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1976, 5(1): 68-105. [DOI: 10.1016/S0146-664X(76)80006-8]
- [2] Gyorgy F. Rendering and managing spherical data with sphere quadrees[C]//*Proceedings of the 1st IEEE Conference on Visualization*. San Francisco, CA: IEEE, 1990: 176-186. [DOI: 10.1109/VISUAL.1990.146380]
- [3] Goodchild M F, Yang S R. A hierarchical spatial data structure for global geographic information systems[J]. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 1992, 54(1): 31-44. [DOI: 10.1016/1049-9652(92)90032-S]
- [4] Dutton G. Improving locational specificity of map data—a multi-resolution, metadata-driven approach and notation[J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1996, 10(3): 253-268. [DOI: 10.1080/02693799608902078]
- [5] Sahr K, White D, Kimerling A J. Geodesic discrete global grid systems[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2003, 30(2): 121-134. [DOI: 10.1559/152304003100011090]
- [6] Agranov G, Gotsman C. Algorithms for rendering realistic terrain image sequences and their parallel implementation[J]. *The Visual Computer*, 1995, 11(9): 455-464. [DOI: 10.1007/BF02439642]
- [7] Shen J, Ti C P, Raghunathan A, et al. Automatic video self modeling for voice disorder[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2015, 74(14): 5329-5351. [DOI: 10.1007/s11042-014-2015-1]
- [8] Peleg T, Elad M. A statistical prediction model based on sparse representations for single image super-resolution[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014, 23(6): 2569-2582. [DOI: 10.1109/TIP.2014.2305844]
- [9] Yuan H, Kwong S, Liu J, et al. A novel distortion model and Lagrangian multiplier for depth maps coding[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2014, 24(3): 443-451. [DOI: 10.1109/TCSVT.2013.2280071]
- [10] wenku.baidu.com. MPEG H.26x[EB/OL]. [2015-11-03] http://wenku.baidu.com/link?url=PiIpKJwYFNC8ZIXW-k6Ir79IuIK9BT2zEd6fmJqleKr55IoHSwo_4xnzd07pn0ydV0YKiDKzXcCy048iEGCAG1XcX6o6hExDGYr2jn-WOG.
- [11] Wiegand T, Sullivan G. Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification[S] (ITU-T Rec. H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC), 2003.
- [12] Baek M, Jeong J. Demosaicing algorithm using high-order interpolation with Sobel operators[C]//*Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. San Francisco, USA: WCECS, 2014, 1: #2213.
- [13] Bjørke J T, Nilsen S. Wavelets applied to simplification of digital terrain models[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2003, 17(7): 601-621. [DOI: 10.1080/1365881031000135500]
- [14] Guilbert E, Gaffuri J, Jenny B. Terrain generalisation[M]//Burghardt D, Duchêne C, Mackness W. *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World: Methodologies and Applications of Map Generalisation; Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Switzerland: Springer, 2014: 227-258. [DOI: 10.1007/978-3-319-00203-3_8]
- [15] Hirakawa K, Parks T W. Adaptive homogeneity-directed demosaicing algorithm[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, 14(3): 360-369. [DOI: 10.1109/TIP.2004.838691]
- [16] Zhang L, Wu X L, Buades A, et al. Color demosaicking by local directional interpolation and nonlocal adaptive thresholding[J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2011, 20(2): #023016. [DOI: 10.1117/1.3600632]
- [17] Huang X, Cossairt O. Dictionary learning based color demosaicing for plenoptic cameras[C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. Columbus, OH: IEEE, 2014: 455-460. [DOI: 10.1109/CVPRW.2014.73]
- [18] Sullivan G J, Ohm J R, Han W J, et al. Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(12): 1649-1668. [DOI: 10.1109/TCSVT.2012.2221191]
- [19] Ma S, Huang T, Reader C, et al. AVS2? Making video coding smarter [Standards in a Nutshell][J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2015, 32(2): 172-183. [DOI: 10.1109/MSP.2014.2371951]