



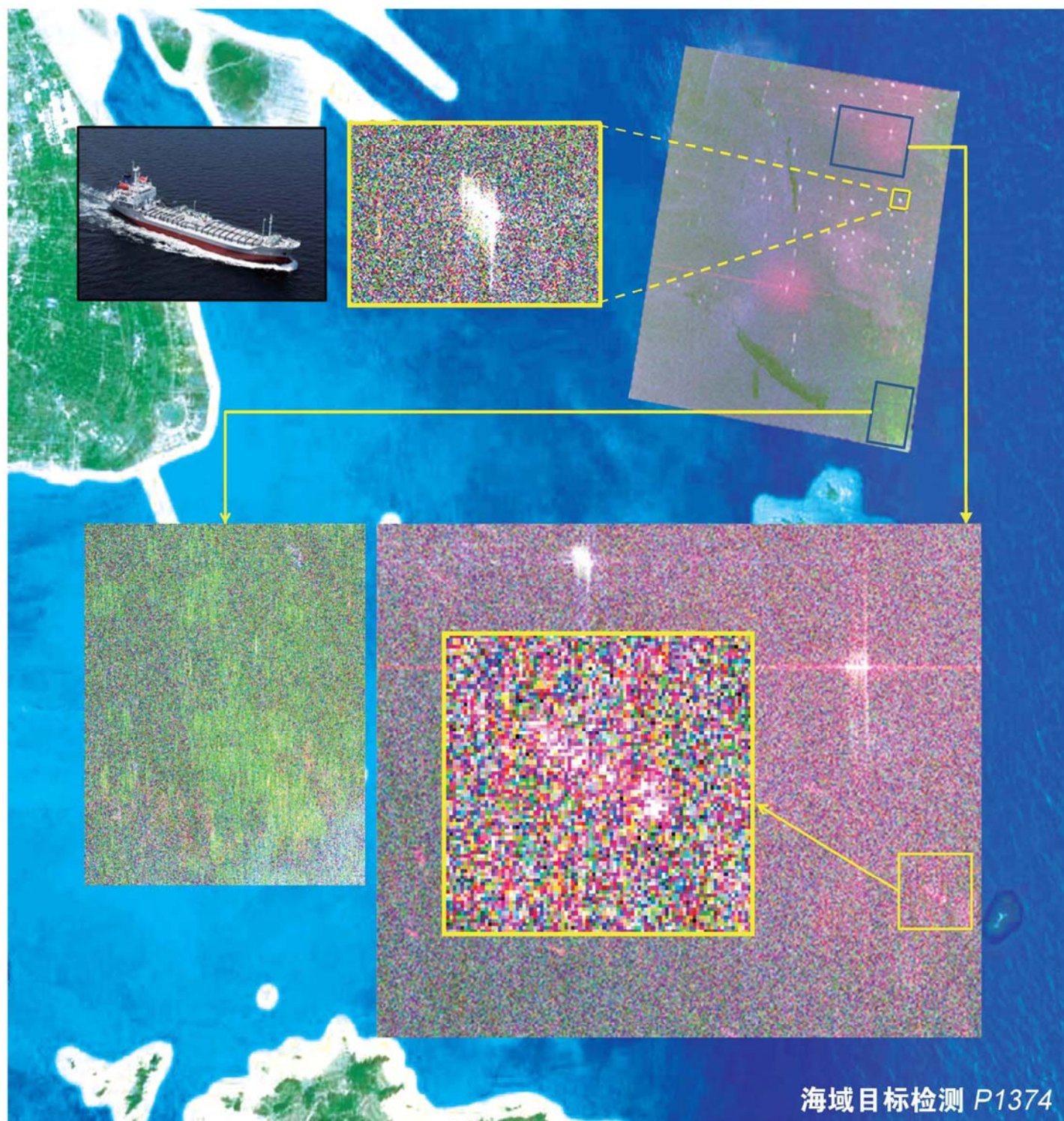
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

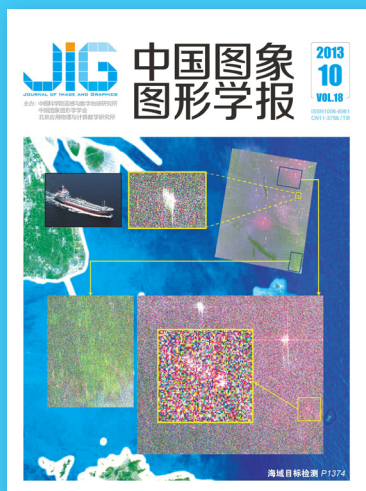
中国图象图形学报

2013
10
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



海域目标检测 P1374



第18卷第10期（总第210期）

2013年10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

2013 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 010-82614429

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 010-82614429

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

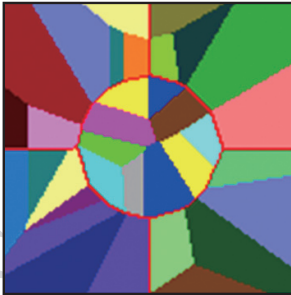
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

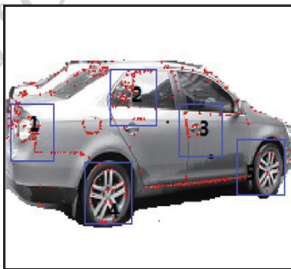
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

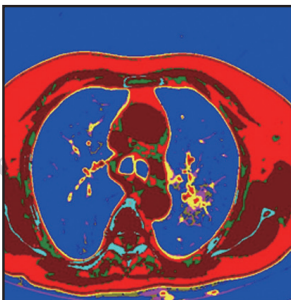
国内定价 50.00元



结合几何划分技术和最大期望值/最大边缘概率算法的彩色图像分割(第1270页)



联合生成与判别模型的目标检测与跟踪(第1293页)



聚类核值相似区特征点的医学影像分类(第1322页)

综述

手掌静脉图像识别技术综述

吴微, 苑玮琦 1215

视频检测烟雾的研究现状

罗胜, Jiang Yuzheng 1225

图像处理和编码

自适应分数阶微分的复合双边滤波算法

胡伏原, 姒绍辉, 张艳宁, 孙瑾秋 1237

曲波域高斯混合尺度模型的图像压缩重构

纪建, 李晓, 许双星 1247

结合图像信号显著性的自适应分块压缩采样

王瑞, 余宗鑫, 杜林峰, 万旺根 1255

四阶各向异性扩散方程在图像放大中的应用

李鹏, 邹杨, 姚正安 1261

图像分析和识别

结合几何划分技术和最大期望值/最大边缘概率算法的彩色图像分割

赵泉华, 李玉, 何晓军 1270

自适应加权完全局部二值模式的表情识别

胡敏, 许艳侠, 王晓华, 黄忠, 朱弘 1279

面向局部光照突变的时间和空间中心对称局部二值模式算子

卞紫涵, 房胜, 徐田帅 1285

联合生成与判别模型的目标检测与跟踪

刘倩, 侯建华, 牟海军, 赵巍, 笪邦友 1293

目标不同视角下观察信息的迁移和再利用

张索非, 吴海洋, 吴镇扬 1302

图像理解和计算机视觉

张量分析在视差图生成中的应用

赵戈, 蔺兰, 唐延东, 王耀南 1307

采用旋转匹配的二进制局部描述子

卢鸿波, 孙愿, 张志敏 1315

医学图像处理

聚类核值相似区特征点的医学影像分类

李博, 曹鹏, 栗伟, 赵大哲 1322

异常宫颈细胞核的自适应局部分割

张灵, 李静立, 陈思平, 汪天富, 江少锋, 刘少雄 1329

地理信息技术

Hilbert填充曲线与空间分布模式探测的点数据集空间划分方法

吴明光 1336

采用案例归纳推理进行道路网智能选取

郭敏, 钱海忠, 黄智深, 刘海龙, 王骁 1343

遥感图像处理

红外目标抗干扰跟踪算法

褚桐, 马惠敏 1354

MSTAR图像的矩特征分析与多阈值分割

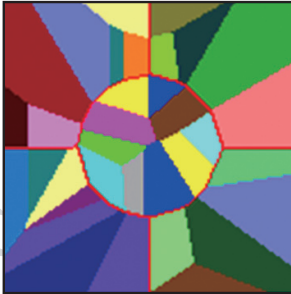
倪维平, 严卫东, 吴俊政, 郑刚, 芦颖 1364

改进Notch滤波的全极化SAR数据船舶检测方法

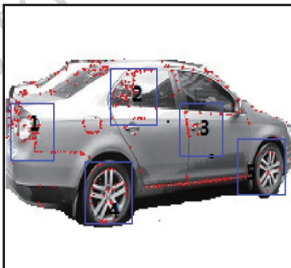
孙渊, 王超, 张红, 张波, 吴樊 1374

CONTENTS

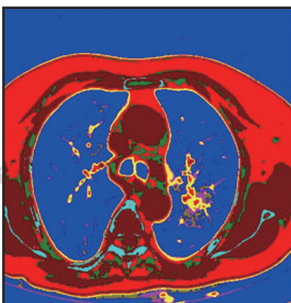
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Color image segmentation using geometry tessellation technique and EM/MPM algorithm(P1270)



Object detection and tracking combining generative and discriminative model(P1293)



Medical image classification based on cluster univalue segment assimilating nucleus feature point(P1322)

Review

- A survey of palm-vein image recognition
Wu Wei, Yuan Weiqi 1215
- State-of-art of video based smoke detection algorithms
Luo Sheng, Jiang Yuzheng 1225

Image Processing and Coding

- Multi-bilateral filtering algorithm based on adaptive fractional order differentiation
Hu Fuyuan, Si Shaohui, Zhang Yanning, Sun Jinqiu 1237
- Image reconstruction algorithm based on the curvelet gaussian scale mixture model
Ji Jian, Li Xiao, Xu Shuangxing 1247
- Saliency-based adaptive block compressive sampling for image signals
Wang Rui, Yu Zongxin, Du Linfeng, Wan Wanggen 1255
- Fourth-order anisotropic diffusion equations for image zooming
Li Peng, Zou Yang, Yao Zheng'an 1261

Image Analysis and Recognition

- Color image segmentation using geometry tessellation technique and EM/MPM algorithm
Zhao Quanhua, Li Yu, He Xiaojun 1270
- Facial expression recognition based on AWCLBP
Hu Min, Xu Yanxia, Wang Xiaohua, Huang Zhong, Zhu Hong 1279
- TSCS-LBP operator oriented to the local illumination mutation
Bian Zihan, Fang Sheng, Xu Tianshuai 1285
- Object detection and tracking combining generative and discriminative model
Liu Qian, Hou Jianhua, Mou Haijun, Zhao Wei, Da Bangyou 1293
- Transfer and reusing of object view information
Zhang Suofei, Wu Haiyang, Wu Zhenyang 1302

Image Understanding and Computer Vision

- Disparity map generation with tensor analysis
Zhao Ge, Lin Lan, Tang Yandong, Wang Yaonan 1307
- Binary local descriptor based on rotative matching
Lu Hongbo, Sun Yuan, Zhang Zhimin 1315

Medical Image Processing

- Medical image classification based on cluster univalue segment assimilating nucleus feature points
Li Bo, Cao Peng, Li Wei, Zhao Dazhe 1322
- Segmentation of abnormal cervical nuclei using an adaptive and local approach
Zhang Ling, Li Jingli, Chen Siping, Wang Tianfu, Jiang Shaofeng, Liu Shaoxiang 1329

Geoinformatics

- Hilbert space-filling curve and spatial pattern detection-based spatial partitioning approach to point geospatial data
Wu Mingguang 1336
- Intelligent road network selection method based on cases inductive reasoning
Guo Min, Qian Haizhong, Huang Zhishen, Liu Hailong, Wang Xiao 1343

Remote Sensing Image Processing

- Study of infrared anti-jamming tracking algorithm
Chu Tong, Ma Huimin 1354
- Moment feature analysis of MSTAR image and multiple thresholds based segmentation
Ni Weiping, Yan Weidong, Wu Junzheng, Zheng Gang, Lu Ying 1364
- Polarimetric SAR ship detection using improved notch filter
Sun Yuan, Wang Chao, Zhang hong, Zhang bo, Wu Fan 1374

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)10-1255-06

论文引用格式: 王瑞,余宗鑫,杜林峰,万旺根. 结合图像信号显著性的自适应分块压缩采样[J]. 中国图象图形学报,2013,18(10):1255-1260. [DOI:10.11834/jig.20131005]

结合图像信号显著性的自适应分块压缩采样

王瑞, 余宗鑫, 杜林峰, 万旺根

上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072

摘要: 均匀分块压缩感知对图像信号进行压缩采样, 无法有效地分离出重要区域和背景区域。为此, 提出一种基于显著性的自适应分块压缩采样方法。根据图像信号的显著性, 利用四叉树算法进行自适应图像分块, 有效分离出重要区域和背景区域。根据区域块的显著度动态设置观测值数量, 重要度区域设置高采样率, 背景区域设置低采样率, 从而提高重要区域的图像重建质量。实验分析表明, 在得到更好的视觉效果同时, 本文算法观测值数量较少, 且重构图像的峰值信噪比(PSNR)、平均结构相似性(MSSIM)指标, 以及运行时间均优于均匀分块压缩采样算法。

关键词: 视觉显著性; 分块压缩采样; 自适应分块; 四叉树算法

Saliency-based adaptive block compressive sampling for image signals

Wang Rui, Yu Zongxin, Du Linfeng, Wan Wanggen

School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China

Abstract: Uniform block compressed sensing cannot separate the important region from the background for image signals effectively. A new notion of saliency-based adaptive block compressive sampling method is proposed. According to the saliency of the image signal, the quadtree algorithm is introduced to separate the important block and background block adaptively. The amount of observation samples is assigned dynamically to improve the quality of image reconstruction in salient regions. A high sampling rate is set for the important regions, while a low value is used for the background regions. Experimental results validate its rationality and effectiveness. Compared with uniform block compressed sensing, the proposed method needs fewer observations, and has a better performance in PSNR and MSSIM with a shorter running time.

Key words: visual saliency; block compressive sampling; adaptive block; quadtree algorithm

0 引言

传统方法对图像信号进行采集与压缩, 以香农定理为准则, 对高速采样后的图像信号进行变换, 将绝对值较大的系数进行编码, 丢弃零或接近零的大量系数, 从而造成采样资源的大量浪费。压缩采样理论^[1-3]主要思想是在信号采样的同时实现信号的

压缩, 它突破了奈奎斯特采样定律对信号采样频率的限制。当图像信号^[3]具有稀疏性或者可压缩性时, 通过少量采样值即可以高概率地实现图像信号的准确或近似重构, 缓解了信号采样、传输和存储过程中所面临的巨大压力。

目前已有的图像压缩感知^[4-5]大都直接对整幅图像(特别是尺寸较大图像)进行压缩采样与重构, 运算量大耗时长。鉴于 JPEG 和 MPEG 中分块离散

收稿日期: 2012-11-28; 修回日期: 2013-03-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(60872115); 上海市教委“电路与系统”重点学科资助课题(J50104)

第一作者简介: 王瑞(1982—), 博士, 讲师, 2009 年于西安电子科技大学获得信号与信息处理专业博士学位, 主要研究方向为压缩感知、传感器网络。E-mail: rwang@shu.edu.cn

余弦变换(DCT)编码的成功应用,Lu 提出了分块压缩感知方法^[6](BCS)。该方法将图像信号分成许多小块,单独对每小块进行操作,计算复杂度大大减少,且块数据间的独立性有利于存储和传输。但BCS忽略了图像信号子区域间的显著性差异,对图像信号的所有区域设置相同的观测数量。为提高图像恢复的质量和效果,Yu 等人^[7]利用图像显著性作为图像重要性判定标准,利用分块压缩采样方法^[6,8],调整不同区域的观测值数量,使得图像信号重要区域的观测值数目多,背景观测值数目少,不仅有效地兼顾显著信息的保留和压缩数据量的规模,而且能解决BCS恢复质量不高的问题。但该方法对图像信号采用均匀分块导致其不能有效地分离出重要区域和背景区域。

针对文献[7]上述不足,提出基于图像信号显著性的自适应分块压缩采样算法(SABCS),利用四叉树算法对被测图像进行自适应分块预处理,提取出重要区域,根据显著性参数对被测图像进行自适应分块与压缩采样,从而有效地实现图像自适应压缩采样。实验分析验证了该方法的有效性与合理性。

1 压缩采样理论

离散信号 $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ 在正交基 $\Psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N]$ 下的线性表示为

$$\mathbf{x} = \sum_{i=1}^N s_i \psi_i, \mathbf{x} = \Psi \mathbf{s} \quad (1)$$

式中, $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N]^T$ 为 $\mathbf{x}$ 的 Ψ 域表示,若 $\mathbf{s}$ 只有 K 个元素非零(或绝对值很大),其他 $N-K$ 个元素都是 0(或绝对值很小),则称原信号 $\mathbf{x}$ 在域 Ψ 上具有 K 稀疏性(可压缩性)。信号的稀疏性或可压缩性是压缩采样理论的基础。压缩采样理论的数学形式描述为

$$\mathbf{y} = \Phi \mathbf{x} \quad (2)$$

式中, $\mathbf{x}$ 是原始信号, $\mathbf{y}$ 为原始信号的测量值, $M \times N$ 维矩阵 Φ 表示测量矩阵。如果 $\mathbf{x}$ 不稀疏但在某个正交基 Ψ 下稀疏,则可以将式(1)代入式(2),则压缩采样的数学形式也可表示为

$$\mathbf{y} = \Phi \mathbf{x} = \Phi \Psi \mathbf{s} = \Theta \mathbf{s} \quad (3)$$

式中, $M \times N$ 维矩阵 $\Theta = \Phi \Psi$ 被称为观测矩阵。为了保证重建信号的质量,要求 Φ 和 Ψ^T 是不相关的,于是 Φ 在很大程度上是随机矩阵。实际上,当 Φ

满足约束等距特性(RIP)^[9]时可以满足上述要求,即对于任意 K 稀疏信号 $\mathbf{x}$, Φ 满足

$$(1 - \delta_k) \|\mathbf{x}\|_2 \leq \|\Phi \mathbf{x}\|_2 \leq (1 + \delta_k) \|\mathbf{x}\|_2 \quad (4)$$

式中, $0 < \delta_k < 1$ 。但是直接构造一个矩阵 Φ 满足 RIP 是很难实现的。事实上当 Φ 为高斯随机矩阵时,就能以较大概率满足 RIP。

恢复信号可以通过式(3)求反变换,典型方法是求最小 2 范数,但是由于该方法对稀疏信号的不适应性导致其不能精确地恢复原始信号。一种改进的方法是求解 0 范数,但是由于其是一个 N-P 复杂问题,需要极大地计算量,实际是不可行的。通常情况下是通过最小 1 范数来恢复信号的,即

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \min \|\mathbf{x}\|_1 \text{ s. t. } \Phi \mathbf{x} = \mathbf{y} \quad (5)$$

压缩采样理论的优越性在于信号的采样数量远远小于传统奈奎斯特采样方法所获得的数据量。对图像信号进行压缩采样分析,图像信号采用 2 维 DCT 进行稀疏变换,测量矩阵选取高斯随机矩阵,信号重建采用性能较好的正交匹配追踪(OMP)^[10]算法。

2 图像信号自适应分块压缩采样

根据视觉显著性模型对图像信号自适应分块,进而提高重要区域块的观测值数量进行非均匀采样,原理如图 1 所示。自适应分块能降低背景区域的计算存储量,将采样点集中在高重要区域,提高重要区域的图像恢复质量。理论上来说任何背景与目标能分离的图像信号都可以通过本文 SABCS 算法进行处理,如大部分自然图像。

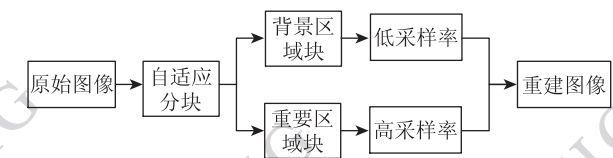


图 1 图像信号自适应分块压缩采样原理图

Fig. 1 Overall architecture of SABCS

2.1 图像信号显著性

基于视觉注意的显著性模型大致分为空域模型、频域模型两种。目前应用较广的有 Itti^[11]模型和谱残差(SR)^[12]模型。Itti 模型是空域方法,SR 模型是频域方法。相对于空域模型,频域方法具有运算速度快的优点,但 SR 模型的检测精度不够高,往往会忽略某些显著性细节。脉冲余弦变化(PCT)

模型^[13]也是一种频域模型,利用神经网络模拟大脑中的神经脉冲感知边缘区域。PCT模型具有简洁的运算式,且复杂度低,能够快速计算出重要区域。本文采用PCT^[13]生成显著图。

对于灰度图像信号 M ,计算显著图为

$$SM = G * F^2 \quad (6)$$

$$F = \text{abs}(\text{IDCT}(P)) \quad (7)$$

$$P = \text{sgn}(\text{DCT}(M)) \quad (8)$$

式中,DCT和IDCT分别表示离散余弦变换和其逆变换, G 为高斯低通滤波器, SM 表示生成的显著图。测试图像选自标准图像库^[14],且将显著图线性映射到 $[0,255]$,如图2所示。

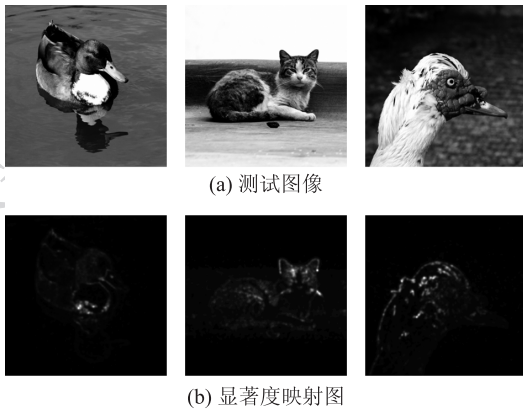


图2 显著性映射图

Fig. 2 Saliency maps generated by the PCT model

2.2 图像信号自适应分块

文献[7]采用均匀分块无法有效分离出重要区域和背景区域,存在过多采样点在背景区域,重要区域观测值过少的问题。图3简单说明了方法^[7]的不足,其中灰色区域表示重要区域,图3(a)中区域4的显著度较低,该区域不会被分配太多的采样点,而文献[7]算法分配给区域4的大部分采样点会被分配到其背景区域,浪费了存储空间和计算时间,重要区域恢复效果也不理想。图3(b)同样存在资源浪

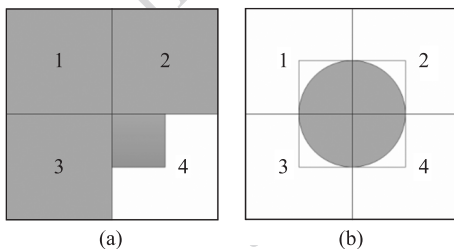


图3 文献[7]算法均匀分块的不足

Fig. 3 The shortage of uniform block in reference [7] algorithm

费和恢复效果不好的缺点,如果能将中间的4个子区域分块出来则能缓解这些不足,因此,根据显著性合理地自适应分块显然是有必要的。

对图像信号各个区域进行不同程度的压缩采样,首先对图像信号进行区域自适应分块,根据不同的显著度将整个图像信号分块成大小不同的矩形区域,重要区域块尺寸大,背景区域块尺寸小。根据二叉树算法,提出一种图像信号自适应分块算法,流程如图4所示。

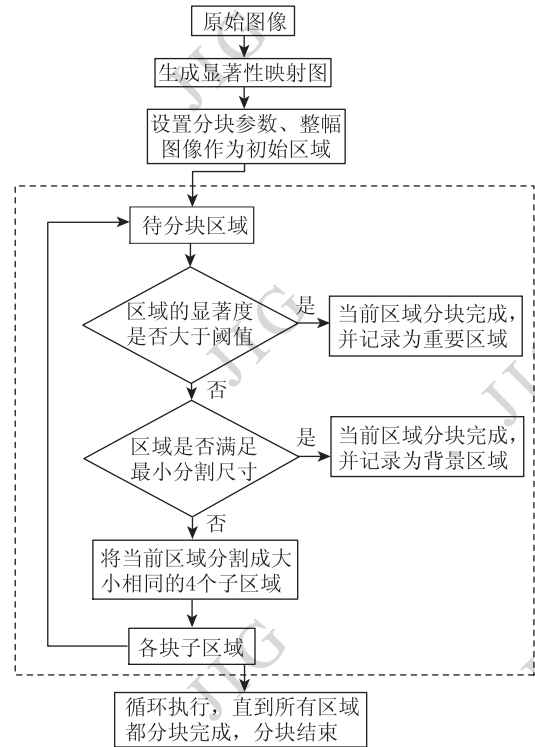


图4 图像信号自适应分块流程图

Fig. 4 Flow diagram of adaptive blocking

令 s_{ij} 为图像信号所生成显著图第 i 行 j 列的值,对于大小为 $M \times N$ 的图像(区域)显著度定义为

$$S = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N s_{ij} \quad (9)$$

本文算法步骤如下:

1) 根据原始图像信号生成显著图,计算整幅图的显著度 S_{avg} (平均显著度),设置分块最小块尺寸($M_{\text{min}} \times N_{\text{min}}$)和区域分块的显著度阈值 T 。

2) 将整个图像信号作为一个区域。

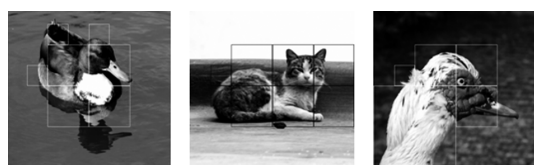
3) 根据图像信号的显著图计算当前区域的显著度,如果大于阈值 $T \cdot S_{\text{avg}}$,则停止分块,并将当前区域记录为重要(显著)区域块,同时该区域分块完成。否则执行步骤4)。

4) 判断当前区域是否满足分块的最小块尺寸, 如果满足则停止分块, 并记录当前区域为背景(非显著)区域块, 当前区域分块完成。否则执行步骤 5)。

5) 根据四叉树算法, 将区域分割成大小相等的 4 块子区域, 并对每个子区域分别执行步骤 3)。

6) 所有区域分块完成, 均已满足分块要求, 图像信号区域分块完成。

本文算法中的分块参数可根据实际情况合理地设置, 不同参数的自适应分块效果见图 5, 其中分隔线围成的块为重要区域块(分块尺寸大), 其他都是背景区域块, 且块尺寸统一为最小块尺寸。



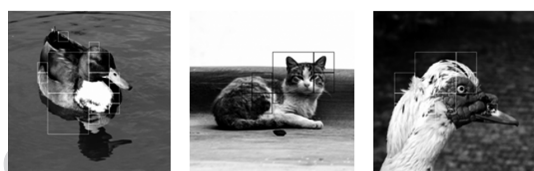
(a) 最小块尺寸 64×64 , $T=1.5$



(b) 最小块尺寸 64×64 , $T=2$



(c) 最小块尺寸 32×32 , $T=2$



(d) 最小块尺寸 32×32 , $T=3$

图 5 不同参数下的图像信号分块效果

Fig. 5 Blocking results with different parameters

2.3 非均匀压缩采样

首先根据自适应图像信号分块, 将图像信号的重要区域动态地分割出来。对于非重要区域(背景)的块设置统一的低采样率。对于重要区域, 设置采样率为

$$SR_i = SR_{\min} + \frac{S_i - T \cdot S_{\text{avg}}}{S_{\max} - T \cdot S_{\text{avg}}} (SR_{\max} - SR_{\min}) \quad (10)$$

式中, SR_i 和 S_i 表示区域 i 的采样率和显著度, $SR_{\max}$ 和 $SR_{\min}$ 分别为重要区域设置的最高采样率和最低采样率。 T 为 2.2 节设定的显著度分块阈值, $S_{\max}$ 表示所有重要区域中的最高显著度, S_{avg} 为整幅图像信号的平均显著度。

根据区域块的显著性, 利用式(10)为各个分块合理地安排采样率以分配不同观测值数量, 从而通过非均匀采样权衡区域视觉效果与数据量。其中, 背景区域采样率, 以及重要区域的最低和最高采样率设置对图像最终的压缩率和视觉效果是有影响的: 当背景区域采样率设置过高, 图像的数据量会变大即压缩率变小; 而当重要区域采样率设置过低, 图像得不到较高的视觉效果。根据实际情况动态调整、合理设置这 3 个采样率是保证本文算法有效性的前提。

通过上述的非均匀压缩采样处理, 使得计算量集中在重要区域, 恢复出的图像信号会突出重要区域而忽略背景区域, 在获得相同视觉效果的同时, 比文献[7]算法节省存储空间和运算时间。

3 实验结果及分析

通过仿真实验, 实现对测试图像^[14]进行自适应压缩采样。软件采用 Matlab R2012b 进行编程, 硬件采用 Core i72.1 GHz、4 G 内存, 参数设置如下: 图像分辨率 512×512 , 分块最小块大小 64×64 , 显著度阈值 $T=2$ 。重要区域的最低和最高采样率分别设置为 0.9 和 0.95, 背景区域的采样率设置为 0.5。通过与均匀分割压缩采样法^[7](均匀分块 128×128) 进行比较, 验证本文算法的合理性与有效性, 压缩采样重建后的图像如图 6 所示。

由图 6 可见, 文献[7]算法均匀分块压缩采样无法有效地分离出重要区域和背景区域, 但恢复效果稍差。本文算法将计算量集中分配给重要区域, 在重要区域的图像恢复效果优于文献[7]算法。虽然本文算法在背景区域的观测值数目较少, 但是由于背景区域一般包含较少的信息以及人们往往不会关注非重要区域, 所以背景区域较少的观测值带来的视觉效果影响不大。本文算法对重要区域的采样数大于文献[7]算法, 重要区域信息的大量观测值提高了图像重建的视觉效果。

由表 1 知, 图像信号进行自适应压缩采样时总体观测数量小于文献[7]算法, 通过 3 组图像实验分析, 本文算法恢复的图像峰值信噪比(PSNR)和平

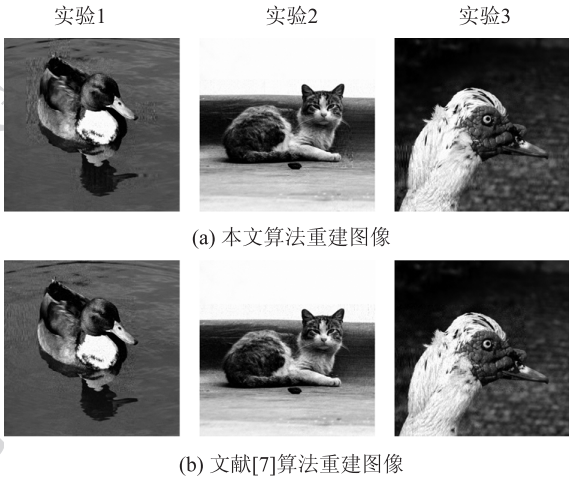


图 6 不同算法实验结果对比
Fig. 6 Comparison of experiment results

表 1 实验结果数据
Table 1 Experimental results

实验	算法	观测值 数量	PSNR/dB	MSSIM	运行时间 /s
1	SABCS	161 856	26. 03	0. 85	18. 24
	文献[7]	177 152	24. 26	0. 82	24. 58
2	SABCS	163 456	29. 66	0. 92	17. 87
	文献[7]	177 664	27. 86	0. 92	22. 26
3	SABCS	158 784	24. 42	0. 85	17. 11
	文献[7]	172 032	22. 97	0. 83	21. 29

均结构相似性 (MSSIM^[15]) 两个指标都优于文献 [7] 算法。本文算法不仅可以有效恢复重要区域信息, 而且可合理地减小背景区域的数据量。文献 [7] 算法均匀分块压缩采样无法达到本文算法自适应分块所获得的视觉效果。此外, 本文算法最小分块尺寸大小设置小于文献 [7] 算法均匀块尺寸, 有效地减少了背景区域的运行时间, 使得本文算法总运行时间小于文献 [7] 算法。

以上实验结果验证了本文算法的有效性, 分析了不同参数对实验结果的影响。由于本文算法重点在自适应分块, 为此调整最小块尺寸和显著度阈值进行实验, 实验结果数据见表 2, 其中实验图像为表 1 中的实验 2 的原始图像。

由表 2 可知, 在相同显著度阈值情况下, 不同的最小块尺寸虽然会带来不同的分块结果, 但其对实验结果的影响较小。而当固定最小块尺寸, 实验结果随显著度阈值变化的趋势明显。显著度阈值越小, 图像恢复效果越好但运行时间会变长, 而当显著

表 2 不同参数下的实验数据

Table 2 Experimental results in different parameters

实验	最小块 尺寸	显著度 阈值	观测值 数量	PSNR /dB	MSSIM	运行时间/s
4	64 × 64	1. 5	175 808	33. 80	0. 94	21. 26
5	64 × 64	2. 0	163 456	29. 21	0. 92	18. 22
6	64 × 64	2. 5	151 552	25. 44	0. 89	15. 62
7	32 × 32	1. 5	175 808	33. 56	0. 94	20. 87
8	32 × 32	2. 0	165 568	29. 65	0. 92	18. 16
9	32 × 32	2. 5	153 248	24. 60	0. 88	15. 28

度阈值过大时, 图像恢复效果甚至会低于算法 [7]。由此可知, 合理地设置显著度阈值是很重要的, 关系到本文算法的有效性。显著度阈值决定着重要区域的判定与分割, 而本文算法的非均匀压缩采样使得重要区域占据着大量的观测值和计算量, 所以显著度阈值间接地决定着观测值数量, 继而影响着最终的恢复效果。

4 结 论

利用图像信号的显著图合理地选取重要区域, 自适应分块法将图像信号的重要区域和背景分割出来, 对于重要区域设置高采样率有利于更好地恢复出图像信号的显著信息, 而背景区域设置低采样率则能节约运算时间和存储空间, 最终恢复的图像信号在平均采样率较低的情况下仍具有良好的视觉效果。实验分析表明, 图像信号自适应分块压缩采样点少于均匀分块^[7]的情况下, 通过本文算法恢复后的图像 PSNR 和 MSSIM 指标均优于算法 [7]。

随着技术的发展, 如有类似于单像素压缩感知相机的新型传感器, 可以利用本文算法, 根据图像信号的显著性对传感器直接进行自适应图像分块压缩采样, 从而有效地降低前端数据处理、存储、传输代价。另外, 由于本文算法依赖于视觉显著性算法, 目前对于突变图像的自适应分块压缩采样处理还不够成熟。随着视觉显著性算法的发展, 本文算法的处理能力也会进一步提高。下一步工作将针对具有复杂背景和弱小的重要目标的图像信号进行压缩采样改进算法研究。

参考文献 (References)

[1] Yang Z. Robustly stable signal recovery in compressed sensing

- with structured matrix perturbation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60(9):4658-4671.
- [2] Marco F D, Yonina C E. Structured compressed sensing: from theory to applications[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59(9):4053-4085.
- [3] Jian W, Byonghyo S. On the recovery limit of sparse signals using orthogonal matching pursuit[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60(9):4973-4976.
- [4] Romberg J. Imaging via compressive sampling[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2):14-20.
- [5] Duarte M, Davenport M, Takhar D, et al. Single-pixel imaging via compressive sampling[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2):83-91.
- [6] Lu G. Block compressed sensing of natural images[C]//Proceedings of the 15th Intl. Conf. on Digital Signal Processing. Wales: Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society, 2007:403-406.
- [7] Yu Y, Wang B, Zhang L. Saliency-based compressive sampling for image signals[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(11):973-976.
- [8] Li Y. Improved model of image block compressed sensing[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(25):186-189.
- [9] Candes E, Romberg J, Tao T. Stable signal recovery from incomplete and inaccurate measurements[J]. Communications on Pure and Applied Mathematics, 2006, 59(8):1207-1223.
- [10] Tropp J A, Gilbert A C. Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2007, 53(12):4655-4666.
- [11] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11):1254-1259.
- [12] Hou X, Zhang L. Saliency detection: a spectral residual approach[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minneapolis: IEEE Computer Society, 2007:1-8.
- [13] Yu Y, Wang B, Zhang L. Hebbian-based neural networks for bottom-up visual attention systems[J]. Computer Science, 2009, 5863:1-9.
- [14] Tecnick. com LTD. TESTIMAGES. [DB/OL]. [2012-10-27]. <http://testimages.tecnick.com>.
- [15] Wang Z, Bovik A, Sheikh H, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Trans. on Image Process, 2004, 13(4):600-612.