

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2013 5
Vol.18 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2013 年 5 月 第 18 卷 第 5 期(总第 205 期)

目 次

综述

- 中国图像工程:2012 章毓晋(483)
动态场景下的交通标识检测与识别研究进展 刘华平, 李建民, 胡晓林, 孙富春(493)

图像处理与编码

- 基于 PCA 硬阈值收缩的平滑投影 Landweber 图像压缩感知重构 李然, 干宗良, 朱秀昌(504)

图像分析和识别

- 利用视觉显著性和粒子滤波的运动目标跟踪 张巧荣, 冯新扬(515)
融合边缘测度的自然场景彩色图像区域分割 代沁伶, 王雷光, 洪亮(523)
场景语义树图像标注方法 刘咏梅, 杨帆, 于林森(529)
基于视锥细胞色适应生理机制的颜色恒常性计算 袁兴生, 王正志, 项凤涛(537)

医学图像处理

- 改进 FCM 和 LFP 相结合的白细胞图像分类 庞春颖, 刘记奎, 韩立喜(545)
局部高斯分布拟合的脑 MR 图像分割及有偏场校正 崔文超, 王毅, 樊养余, 冯燕, 郝重阳(552)

遥感图像处理

- 局部投影可分离的高光谱图像异常检测 刘明, 杜小平, 夏鲁瑞(558)
基于结构特征的遥感影像匹配 寇媛, 徐景中(565)

“第 9 届中国计算机图形学大会”专栏

- 结合浅景深与构图的图像质量评价 顾婷婷, 郭延文, 殷昆燕(574)
结合精确大气散射图计算的图像快速去雾 甘佳佳, 肖春霞(583)
多特征综合的视频拷贝检测 林莹, 杨扬, 凌康, 肖金伟, 武港山(591)
真实感雨线绘制 江隆盛, 吴恩华(600)
误差云映射的深度融合 3 维重建 陈亚当, 蔡仲谋, 吴恩华(607)

- “第八届中国系统建模与仿真技术高层论坛”征文通知 封 3

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 18 No. 5 May 2013

Contents

Review

- Image engineering in China: 2012 Zhang Yujin(483)
- Recent progress in detection and recognition of the traffic signs in dynamic scenes
..... Liu Huaping, Li Jianmin, Hu Xiaolin, Sun Fuchun(493)

Image Processing and Coding

- Smoothed projected Landweber image compressed sensing reconstruction using hard thresholding based on principal components analysis
..... Li Ran, Gan Zongliang, Zhu Xiuchang(504)

Image Analysis and Recognition

- Object tracking based on visual saliency and particle filter Zhang Qiaorong, Feng Xinyang(515)
- Regional segmentation of natural scene color images by integrating edge cues Dai Qinling, Wang Leiguang, Hong Liang(523)
- Automatic image annotation based on scene semantic trees Liu Yongmei, Yang Fan, Yu Linsen(529)
- Color constancy algorithm based on biological mechanism; color adaptation of cone cells
..... Yuan Xingsheng, Wang Zhengzhi, Xiang Fengtao(537)

Medical Image Processing

- White blood cells image classification based on improving the connection of FCM and LFP
..... Pang Chunying, Liu Jikui, Han Lixi(545)
- Multiphase level set method for segmentation and bias correction of brain MR images
..... Cui Wenchao, Wang Yi, Fan Yangyu, Feng Yan, Hao Chongyang(552)

Remote Sensing Image Processing

- Anomaly detection method based on separable local projection in hyperspectral imagery ... Liu Ming, Du Xiaoping, Xia Lurui(558)
- Algorithm for remote sensing images matching based on the structure characteristics Kou Yuan, Xu Jingzhong(565)

Issum of the Chinagraph '2012

- Image quality assessment combining low DoF and composition Gu Tingting, Guo Yanwen, Yin Kunyan(574)
- Fast image dehazing based on accurate scattering map Gan Jiajia, Xiao Chunxia(583)
- Video copy detection based on multiple visual features synthesizing
..... Lin Ying, Yang Yang, Ling Kang, Xiao Jinwei, Wu Gangshan(591)
- Photorealistic rendering of rain streaks Jiang Longsheng, Wu Enhua(600)
- Three dimensional reconstructions based on error clouds mapping Chen Yadang, Cai Zhongmou, Wu Enhua(607)

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)05-0523-06

论文引用格式: 代沁伶, 王雷光, 洪亮. 融合边缘测度的自然场景彩色图像区域分割[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(5): 523-528.

融合边缘测度的自然场景彩色图像区域分割

代沁伶^{1,2}, 王雷光³, 洪亮⁴

1. 西南林业大学材料工程学院, 昆明 650224; 2. 武汉大学印刷与包装系, 武汉 430079;
3. 西南林业大学林学院, 昆明 650224; 4. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 昆明 650500

摘要: 针对传统分割方法基于单个视觉线索的不足, 提出一种结合两种局部边缘测度的自然场景彩色图像区域分割方法。首先, 采用 logistic 回归模型对 200 幅彩色图像进行训练, 建立边缘测度与对象边界的回归模型; 然后, 采用该模型预测图像中每个像素的边界置信度; 最后, 将置信度的函数以自适应权重的形式整合到均值漂移分割算法中, 实现图像区域分割。近 20 幅图像的定量和目视对比实验结果表明, 本文方法能有效地控制过分割和欠分割的产生, 且具有更好的区域边界定位效果。

关键词: 区域分割; 自然场景图像; 边缘检测; 均值漂移

Regional segmentation of natural scene color images by integrating edge cues

Dai Qinling^{1,2}, Wang Leiguang³, Hong Liang⁴

1. School of Materials Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;
2. School of Printing and Packaging, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
3. School of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;
4. College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China

Abstract: A regional segmentation algorithm for nature scene images is presented in this paper. The method integrates two local edge cues and aims to reply the inadequacy in single visual cue based methods. Firstly, the logistic regression model is trained by 200 color images and the regression relationship between edge cues and image object boundary is established. Then, the model is employed to predict the boundary confidence of every pixel. Finally, the confidence functions are integrated into the procedure of mean shift segmentation by calculating the adaptive variable weights. Both quantitative and visual inspections operated in about 20 images show that the algorithm has better performance in suppressing over-segmentation and under-segmentation, and tightly localizing the boundaries.

Key words: region segmentation; nature scene image; edge detection; mean shift

0 引言

图像分割是将图像划分成与真实世界的物体具

有强相关组成部分的过程, 是图像分析和计算机视觉中的重要处理步骤。分割方法大致可分为基于边缘及基于区域的技术^[1]。基于边缘的分割依赖于边缘检测算子获得的图像边缘, 通过将边缘连接成

收稿日期: 2012-07-03; 修回日期: 2012-10-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001286, 41001251, 41001256, 40971219); 云南省科技厅基础研究面上项目(2010CD062); 云南省科技厅基础研究青年基金项目(2012FD030); 西南林业大学重点基金项目(111003); 国家林业局森林经理重点学科建设项目(XKZ200901)

第一作者简介: 代沁伶(1982—), 女, 讲师, 武汉大学图像传播工程专业博士研究生, 主要研究方向为多媒体信息检索。E-mail: daiqinling@126.com

通讯作者: 王雷光, E-mail: wlgbain@gmail.com

边缘链,以封闭的边缘链构成物体的边界^[2-3]。该类方法利用了影像的局部梯度信息,对灰度平滑的对象具有较好的边界定位精度,但对图像纹理边界检测效果不佳,且不易获得整幅图像的完全分割。基于区域的分割方法利用图像局部光谱、纹理等特征的同质性,将图像分割成互不重叠的部分。常见的区域分割方法有区域增长法^[4]、分裂合并法^[5]、分水岭分割法^[6-7]、均值漂移分割算法^[8]等。其中,区域增长和分裂合并分割算法很难为图像选择合适的种子点和区域合并及终止准则,一贯性的准则很难保证在大尺度区域和小尺度区域同时有效;分水岭分割算法受制于噪声和梯度的局部不规则性,往往会导致过分割。

均值漂移(MS)分割算法在自然场景图像分割中获得了广泛的关注^[8-10]。该算法将像素灰度值和空间坐标组成联合特征空间,通过迭代过程实现图像的滤波,通过对滤波结果的区域增长实现对图像的区域分割。但是,该方法没有利用局部的对象边界的不连续信息,往往不能将弱边缘的对象分割出来。如果能将区域同质信息和边缘的不连续信息进行整合,无疑将有助于获得准确的和更完整的分割结果。所以,本文对均值漂移区域分割算法进行了如下拓展:首先,提出一种基于 Logistic 回归模型^[11]的互补边缘线索整合方法,获得像素的局部边界置信度;然后,将置信度的函数以自适应权重的形式整合到均值漂移迭代分割过程中,提出了一种整合两种边缘线索的均值漂移区域分割方法。

1 边缘检测算子及结合方法

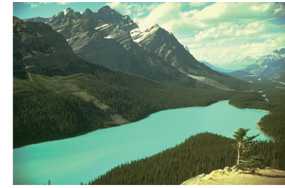
早期的边缘检测方法^[2]将边界建模为图像灰度值的不连续性,通过寻找局部梯度的极大值来确定边界。这类方法对于纹理图像往往会出现严重的错检。随后,出现了一些用于纹理边缘检测的方法^[12]。这类方法一般首先对图像局部开窗,通过对比局部区域的特征分布来提取边界信息。这也导致该类方法又不适合于灰度变化平缓区域的检测。由于单一的边缘算子对灰度和纹理对象边界检测缺乏普适性,相关的心理学和实验研究也表明人类对物体边界的定位需要综合多种视觉线索^[13],研究者提出了多种边缘线索的整合方法。

Meer 等人^[3]考虑到梯度信息在描述图像边界的不完备性,提出了一个新的边缘测度。该测度利

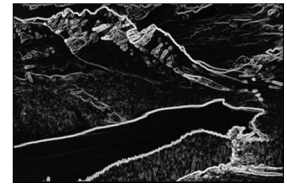
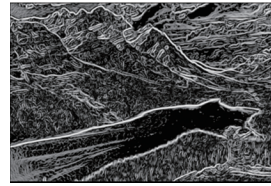
用像素的梯度相位信息,计算了归一化的数据矢量和标准边界模板对应的矢量之间的夹角的余弦值。该测度和梯度的计算复杂度均较低,且具有较好的互补性。Christouias 等人^[14]将两者进行简单的归一化和线性加权对线索进行整合,即

$$C_{i,j} = a_{i,j}\rho + (1 - a_{i,j})\eta \quad (1)$$

式中, ρ 和 η 分别代表 $I(i,j)$ 的梯度测度和矢量夹角测度; $a_{i,j}$ 为对应的权重,取 0.3, $C_{i,j}$ 为加权获得的边界置信度。图 1(b) 是采用上述方法获得的边界置信图。可以看到:无论在图像灰度变化较小的灰度同质区域(水体部分),还是灰度变换较大的纹理同质区域(山林),直接线性加权的方法都会导致在一些非边界部分也出现较大值,不能与真实地物边界对应。



(a) 原始图像



(b) 两种线索的线性加权结果 (c) 两种线索的 Logistic 回归结果

图 1 图像及两种边缘整合结果示例

Fig. 1 Original image and two example shows for two combination methods for edge cues

为有效整合两种算子,使其更符合人眼视觉观察物体的边界定位特点,引入 Logistic 回归分析^[11]。Logistic 回归分析用于指定观测条件 $\mathbf{x}$ 下事件 k 发生的后验概率的建模。两种边缘线索的整合可以认为是:如何在已知像素的两种边缘测度的条件下,确定该像素属于边界的后验概率的问题。定义观测的特征向量为 $\mathbf{x} = [\rho, \eta]^T$;令 $k=1$ 和 $k=0$ 分别代表观测结果为边界和非边界; $\boldsymbol{\beta} = [\beta_0, \beta_1, \beta_2]^T$ 代表回归模型的未知参数集合,则后验概率 $P(k=1|\mathbf{x})$ 可表示为

$$P(k=1|\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1\rho + \beta_2\eta)}} \quad (2)$$

代表在两种边缘测度 x_i 已知的条件下, i 位置位于对象边界的后验概率。

为求解后验概率,首先要确定模型参数 β 。记 $P(k=1|\mathbf{x})$ 为 $p(\mathbf{x};\beta)$, 则 $P(k=0|\mathbf{x}) = 1 - p(\mathbf{x};\beta)$; 特征向量 $\mathbf{x}$ 拓展为 $[1, \rho, \eta]^T$, 仍记为 $\mathbf{x}$ 。则基于增广的样本集合 $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_i | i=1, \dots, N\}$ (N 为训练样本个数), Log 似然函数定义为

$$l(\beta) = \sum_{i=1}^N \{y_i \beta^T \mathbf{x}_i - \log(1 + e^{\beta^T \mathbf{x}_i})\} \quad (3)$$

式中, 当 $k=1$ 时, $y_i=0$; 当 $k=0$ 时, $y_i=1$ 。为使得 Log 似然函数取得极大值, 需要对式(3)中的未知参数 β 求偏导, 即

$$\frac{\partial l(\beta)}{\partial \beta} = 0 \quad (4)$$

方程组的矩阵化求解方法如下:

- 1) 对 $\mathbf{X}$ 进行归一化预处理, 使得 2 个特征维均具有单位方差;
- 2) 初始化 $\beta^{\text{old}} = [0, 0, 0]^T$;
- 3) 根据式(2)计算全部训练样本的后验概率 p ; 进而计算 $\mathbf{W}$;
- 4) 更新 $\beta^{\text{new}} = \beta^{\text{old}} + (\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T (\mathbf{y} - \mathbf{p})$;
- 5) 若向量 β^{new} 与 β^{old} 的欧氏距离小于指定阈值, 将 β^{new} 作为迭代结果, 终止运算。否则, 令 $\beta^{\text{old}} = \beta^{\text{new}}$, 重复上述步骤 3)—5)。

其中, $\mathbf{X}$ 为 $\mathbf{x}_i$ 组成的大小 $N \times 3$ 的矩阵, $\mathbf{y}$ 是由 y_i 组成的大小 $N \times 1$ 向量; $\mathbf{p}$ 是由 $p_i = p(\mathbf{x}_i; \beta)$ 组成的 $N \times 1$ 向量, $\mathbf{W}$ 是大小为 $N \times N$ 的对角矩阵, 且第 i 个元素值为 $p(\mathbf{x}_i; \beta) \times (1 - p(\mathbf{x}_i; \beta))$ 。

在获得 β^{new} 后, 依据式(2)可以计算图像中每个像素属于边界的后验概率 $P(k=1|\mathbf{x}_i)$ 。图 1(c) 给出了通过上述方法获得的边界置信度图像。显然, 无论是在纹理还是非纹理区域, 图 1(c) 比图 1(b) 的结果都更符合人眼对图像边缘的感知。

2 均值漂移分割与边缘线索的结合

均值漂移分割算法^[8]将待分割图像中每个像素对应为一个 2 维空间坐标 $\mathbf{z}_i^s$ 和 d 维波段灰度值 $\mathbf{z}_i^r$ 组成的联合特征向量 $\mathbf{z}_i$ ($i=1, \dots, M$), 有均值漂移的核函数

$$g_{h_s, h_r}(\mathbf{z}_i) = \frac{C}{h_s^2 h_r^d} g_1\left(\left\|\frac{\mathbf{z}_i^s}{h_s}\right\|^2\right) g_2\left(\left\|\frac{\mathbf{z}_i^r}{h_r}\right\|^2\right) \quad (5)$$

及均值漂移迭代公式

$$y_{k,j+1} = \frac{\sum_{i=1}^M \mathbf{z}_i g_{h_s, h_r}(\mathbf{z}_i - y_{k,j}) w(\mathbf{z}_i)}{\sum_{i=1}^M g_{h_s, h_r}(\mathbf{z}_i - y_{k,j}) w(\mathbf{z}_i)} \quad (6)$$

式中, M 为图像中像素个数; $\mathbf{z}_k'$ 代表第 k 像素位置上, Luv 颜色空间中的灰度特征向量, $k=1, 2, \dots, M$; $y_{k,j}$ 代表 k 位置第 j 次迭代的结果, 且初始特征向量 $y_{k,1} = \mathbf{z}_k$; h_s 和 h_r 分别为空间和光谱特征域带宽; $g_1(\cdot)$ 和 $g_2(\cdot)$ 均为核函数; $w(\mathbf{z}_i)$ 是特征样本 $\mathbf{z}_i$ 的权重。

通过迭代, 空间位置相近的、光谱差异小的像素收敛到近似的模态, 通过简单的区域生长, 就可以实现区域的分割。在迭代过程中, 每个样本点 $\mathbf{z}_i$ 的权重 $w(\mathbf{z}_i)$ 一般被设置为 1^[8], 即不考虑样本点之间的差异。这将导致方法不能有效定位图像中的弱边缘, 进而导致图像欠分割。直观上, 通过将边界位置上的像素赋予较小的权重, 区域内部对于图像中的弱边缘像素赋予较大的权重, 可以将像素区域的同质性信息和边界的突变信息结合起来, 进一步增强滤波过程的边缘保持能力。基于上述考虑, 将图像 i 位置权重 $w(\mathbf{z}_i)$ 定义为

$$w(\mathbf{z}_i) = 1 - P(k=1|\mathbf{x}_i), i=1, \dots, M \quad (7)$$

式中, $P(k=1|\mathbf{x}_i)$ 由第 1 节训练获得的 Logistic 的回归模型预测得到。

当 i 位置越接近对象边界, 后验概率越大, 式(7)中对应的权重 $w(\mathbf{z}_i)$ 越小, 反之权重 $w(\mathbf{z}_i)$ 越大。这种权重设置方式使得同质区域内的样本权重加大, 边缘像素样本权重减小, 图像边缘的不连续信息以权重的形式自适应整合到均值漂移过程中。样本权重的自适应改变使得迭代过程保持边缘的能力进一步增强。

3 实验结果及分析

3.1 实验设计

实验数据取自 Benchmark 图像库^[15]。该库包含了 300 幅大小为 321×481 或 481×321 的自然场景图像及对应的手工参考分割结果。实验采用其中的 200 幅彩色图像及对应的分割结果进行 β 参数训练, 边缘和非边缘两类共计选择了 $N=10^6$ 个样本点。基于第 1 节的训练方法, 特征归一化后的标准方差为 $\sigma_{\text{std}} = [1, 0.244\ 9, 0.261\ 6]^T$, 训练得到的参数 $\beta = [-3.472\ 5, 2.519\ 8, -1.938\ 2]^T$ 。

为检验提出方法的有效性, 从图像库剩余图像中另外随机选择了近 20 幅彩色测试图像进行分割实验, 设计了两组实验。第一组对比了提出的方法和一般均值漂移分割方法的结果; 第二组实验对比

了提出的方法和基于几何流的 TurboSeg 区域分割方法^[16],小波域分水岭分割算法 WaveSeg^[17]的结果。实验评价均采用定量和目视相结合的方式。定量评价指标包括:概率随机指数(PRI)^[18],全局一致性误差(GCE)^[15],以及专用于彩色图像分割评价的经验评价函数(EEF)^[19]。其中,PRI 和 GCE 需要对参考分割结果进行对比。PRI 取值在 $[0,1]$ 之间,当测试图像中的任意像素对的关系和参考图像之间的关系完全一致时取 1,反之取 0。GCE 度量了测试图像和参考图像的接近程度,取值也在 $[0,1]$ 之间。当两者完全一致时 GCE 取 0,否则取 1。EEF 指标不需要参考分割图像,当区域同质性好且小区域较少时,EEF 有较小值。3 个指标从不同角度反映了分割图像的质量。

3.2 不同设置的均值漂移分割方法的对比

将对比采用权重为 1(无权重)的均值漂移方法^[8]M1、基于固定权重的方法^[14]M2 和本文方法 M3 的结果。实验考虑到各图像中对象的平均面积大小,将分割算法的最小区域面积分别设置为 40、60 和 80,其他参数均采用相关文献^[8, 14]的默认值。采用 16 幅测试图像,每种方法获得 3 组分割结果。按照面积参数的不同,每种方法所有分割结果 3 个评价指标的均值统计如表 1 所示。

表 1 均值漂移方法不同分割参数的定量对比
Table 1 Comparison of mean shift results with different segmentation parameters

面积	方法	平均区域数	PRI	GCE	EEF
40	M1	366	0.920 6	0.141 8	0.360 4
	M2	462	0.926 1	0.094 9	0.342 5
	M3	397	0.930 8	0.113 6	0.340 1
60	M1	260	0.924 3	0.145 3	0.317 2
	M2	341	0.928 8	0.098 7	0.309 5
	M3	273	0.934 0	0.117 5	0.301 2
80	M1	216	0.924 5	0.148 6	0.297 3
	M2	285	0.928 8	0.102 0	0.292 0
	M3	238	0.934 0	0.120 8	0.282 4

由表 1 可以看到:1)3 种方法的 PRI、GCE 及 EEF 值的变化规律在 3 个尺度下均有具有一致性。这表明 3 个指标能较好地反映分割质量。2)局部

边缘的不连续性信息的加入可以提高分割的质量。从 PRI、GCE 和 EEF 指标上看,无论是本文方法还是文献^[14]中的梯度和矢量夹角加权的方式,都改善了分割质量。对比本文方法和文献^[14]的 3 组不同阈值参数的结果,本文方法的 PRI 和 EES 指标要优于基于固定权重的方法。GCE 指标略差于基于固定权重的方法,但仍优于无权重方法的结果(见表 1 黑体数值)。3)相同面积阈值参数条件下,考虑权重的两种分割方式均导致区域个数的一定程度的增加。这意味着图像中欠分割现象的改善。另一方面,在获得更优或相当的分割质量的前提下,本文方法比固定权重的方法平均区域个数更少。这表明本文方法分割结果中存在的过分割现象更少。

另外,图 2 还给出了部分图像的分割结果。每组图像包含 1 幅原始图像,1 幅手工标记的参考图像,以及采用固定权重及本文方法获得的分割区域边界与原始图像的叠加。

对比分割结果可以看到:1)固定权重的方法倾向于获得更加细碎的分割结果(如图 2(c)中的天空部分)。这主要是由于在迭代过程中,同质区域内的像素样本,尤其是纹理同质区域中的样本,和边界上的像素样本一样,同样计算出较高的边界置信度。2)本文方法对弱边缘有较好的响应(如图 2(a)中的机身部分和图 2(b)中的白云)。之所以会有这样的结果,图 1(c)的权重图可以说明问题。本文方法的基于大量样本的训练确定权重,无论对纹理区域边界或者是灰度平坦区域的边界均有较好的检测效果,并在一定程度上抑制纹理区域内部变换所体现出的高梯度值,使得获得的权重可以真实反映图像中的对象的边界信息。因此,结合定量指标和目视解译的结果,对比固定权重和均一权重的均值漂移方法本文提出的方法可获得了更优且更具鲁棒性的结果。

3.3 不同分割方法结果对比

将本文方法与基于几何流的 TurboSeg 区域分割方法^[16]、小波域分水岭分割算法 WaveSeg^[17]进行对比。实验中,本文提出算法采用与 3.2 节一致的 3 组实验参数;对比算法通过调节相应的算法参数,使其获得的平均区域个数均与前者相同或接近。表 2 给出了 3 种情况下的分割结果的定量对比。图 3 还给出了典型影像采用所有方法及参数获得的分割结果及局部放大图。由表 2 可以看到:在获得相似分割区域个数的前提下,3 种分割评价指标上,本文

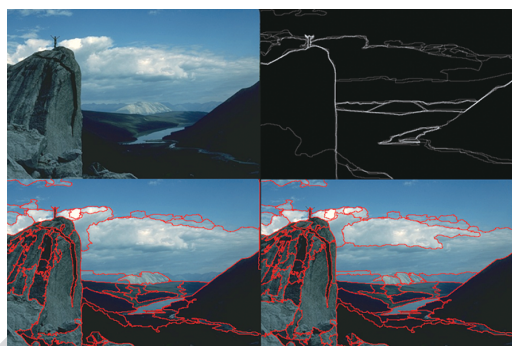
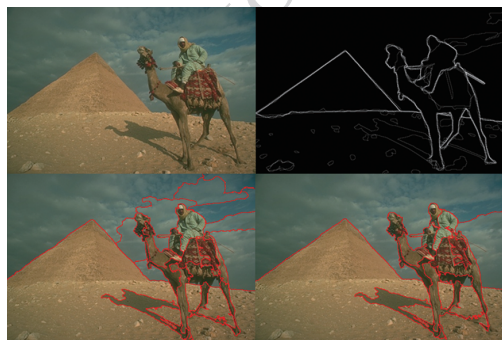
(a) $[h_s, h_r, \text{min-region}] = [7, 3, 3000]$ (b) $[h_s, h_r, \text{min-region}] = [7, 6, 300]$ (c) $[h_s, h_r, \text{min-region}] = [7, 4, 1000]$

图2 部分实验图像及分割结果对比

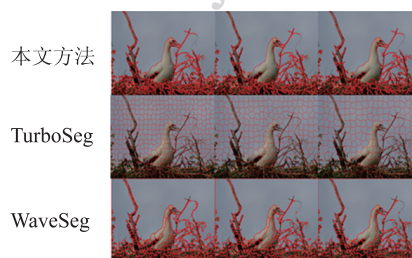
Fig. 2 Some Segmentation results with original images

表2 3种分割方法的对比

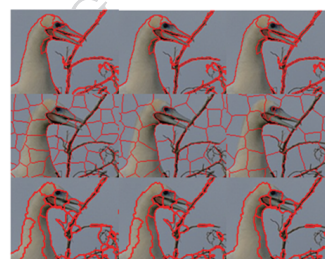
Table 2 Comparison of three segmentation methods

编号	方法名称	平均区域个数	PRI	GCE	EEF
1	M3	397	0.930 8	0.113 6	0.340 1
	TurboSeg	397	0.823 6	0.114 4	0.500 7
	WaveSeg	372	0.924 4	0.187 7	0.414 0
2	M3	273	0.934 0	0.117 5	0.301 2
	TurboSeg	273	0.824 3	0.134 2	0.439 1
	WaveSeg	278	0.922 5	0.211 7	0.329 3
3	M3	238	0.934 0	0.120 8	0.282 4
	TurboSeg	238	0.824 7	0.143 8	0.418 2
	WaveSeg	242	0.925 4	0.220 5	0.300 9

方法都具有最好的表现(见表中加粗部分);WaveSeg 分割方法获得了次佳的表现;TurboSeg 分割方法最差。



(a) 分割区域边界与影像的叠加



(b) 分割区域边界的局部放大图

图3 不同方法/参数的分割结果对比

Fig. 3 A comparison of segmentation results from different methods or parameters setting

从各分割方法的时间效率上来看,实验耗费的时间受算法实现的语言和算法的参数设置影响较大。理论上,均值漂移分割算法需要对每个像素样进行迭代,具有较高的时间复杂度。但是,由于样本之间互不影响,因此可以通过设计并行算法加快处理速度。实验中,在相同的硬件配置条件下,3.2节3种不同设置的均值漂移分割方法 M1, M2 和 M3, 采用相同的均值漂移参数,时间效率相当。其中,当 $[h_s = 7, h_r = 6.5, \text{min-region} = 20]$ 时,耗时约 2 s。比较 TurboSeg、WaveSeg 及本文的 M3 等方法, TurboSeg 分割算法平均耗时最长, WaveSeg 分割算法次之, 本文方法耗时最短。

由图3可见:本文方法和 WaveSeg 分割方法倾向于获得灰度同质但差异比较大的区域,而 TurboSeg 方法则获得的是面积差异较小、不规则形状的网格; TurboSeg 分割方法有较好的定位边界效果,但是不能有效的将边界差异性较小的对象区分开(如白鸟的颈部和背景的分); WaveSeg 分割方法不能有效定位对象的边界,获得的边界不平滑; 本文方法获得了和 TurboSeg 方法类似的边界定位效果,同时能有效的定位弱边缘。虽然 WaveSeg 方法获得与本文方法相当的定量统计结果,但是由于定量指标

倾向于从区域一致性的角度评价分割结果,因此不能反映该方法边界定位效果不佳的问题。TurboSeg 方法具有良好的边界定位能力,但是容易出欠分割现象,不利于后续的处理。本文方法由于综合了多种局部边缘检测算子,并将其以权重的形式加入到均值漂移迭代过程,通过局部的不连续性和区域的内质性的整合利用,因此获得了更优的结果。

4 结 论

提出了一种自适应整合多边缘线索到均值漂移迭代过程的方法,增强了传统均值漂移分割算法对弱边缘对象的检测能力。定量和目视解译实验表明:相比没有考虑权重的方法,本文方法可以有效地减少欠分割现象的出现;相比采用固定线性加权的权重形式,该算法可以更好地控制过分割的产生;对比基于几何流和分水岭变换的分割方法,本文方法也有较好的表现。因此,本文方法可以为自然场景图像分析提供更佳的初始分割结果。由于回归模型可以采用离线训练的方式获得,因此提出的方法适用于非监督式分割的场合。但仍可以看到:本文方法分割获得的区域仍多属于过分割。对于随后的识别对象和分析,仍需要采用合适的区域建模方法,如 MRF 随机场,来实现区域的进一步合并。

参考文献 (References)

- [1] Freixenet J, Muñoz X, Raba D, et al. Yet another survey on image segmentation: region and boundary information integration [C]//Proceedings of European Conference on Computer Vision. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002:21-25.
- [2] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine, 1986, 8(6): 679-698.
- [3] Meer P, Georgescu B. Edge detection with embedded confidence [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(12):1351-1365.
- [4] Wan S Y, Higgins W E. Symmetric region growing[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(9):1007-1015.
- [5] Ojala T, Pietikainen M. Unsupervised texture segmentation using feature distributions[J]. Pattern Recognition, 1999, 32(3): 477-486.
- [6] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598.
- [7] Li P, Xiao X. Multispectral image segmentation by a multichannel watershed-based approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(19): 4429-4452.
- [8] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5):603-619.
- [9] Wang L G, Zheng C, Lin L Y, et al. Fast segmentation algorithm of high resolution remote sensing image based on multiscale mean shift [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(1): 177-183. [王雷光, 郑晨, 林立宇, 等. 基于多尺度均值漂移的高分辨率遥感影像快速分割方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(1):177-183.]
- [10] Luo Q M, Khoshgoftaar T M. Unsupervised multiscale color image segmentation based on MDL principle[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(9):2755-2761.
- [11] Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. The Elements of Statistical Learning Data Mining, Inference, and Prediction [M]. New-York:Springer, 2009:119-129.
- [12] Jain A K, Karu K. Learning texture discrimination masks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(2): 195-205.
- [13] Rivest J, Cabanagh P. Localizing contours defined by more than one attribute[J]. Vision Research, 1996, 36(1):53-66.
- [14] Christouias C M, Georgescu B, Meer P. Synergism in low level vision[C]//Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society Press, 2002: 150-155.
- [15] Martin D, Fowlkes C, Tal D, et al. A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics[C]//Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Computer Vision. Washington DC: IEEE Computer Society Press, 2001: 416-423.
- [16] Levinstein A, Stere A N, Kutulakos K, et al. TurboPixels: fast superpixels using geometric flows[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(12): 2290-2297.
- [17] Jung C R. Unsupervised multiscale segmentation of color images [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(4): 523-533.
- [18] Pantofaru C, Hebert M. A comparison of image segmentation algorithms[D]. Pittsburgh:Carnegie Mellon University, 2005.
- [19] Borsotti M, Campadelli P, Schettini R, et al. Quantitative evaluation of color image segmentation results[J]. Pattern Recognition Letters, 1998, 19(8):741-747.