



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

05

VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

流体模拟 P781





第19卷第5期（总第217期）

2014年5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

综述

中国图像工程: 2013

章毓晋 0649

图像处理和编码

SAR复图像数据的CCSDS-IDC编码性能分析与二叉树编码

侯兴松, 韩敏, 龚晨 0659

记忆梯度追踪压缩感知图像重构

郭强, 吴成东 0670

处理异常值的相机抖动模糊图像复原

阮光诗, 孙俊喜, 孙阳, 刘红喜, 赵立荣, 刘广文 0677

Logistic视频字幕增强模型

李钦瑞, 吕学强, 李卓, 刘坤 0683

图像分析和识别

结合LPG&PCA的中智学图像分割

张桂梅, 王大雷 0693

融合多特征的运动一致性图像分割

魏国剑, 侯志强, 李武, 余旺盛 0701

壁画图像分类中的分组多实例学习方法

唐大伟, 鲁东明, 许端清, 杨冰 0708

采用加性核SVM的二尖瓣瓣根识别

徐伟, 姚丽萍, 宋薇, 杨新, 孙锟 0716

迭代的图变换匹配算法

李婷婷, 汤进, 江波, 罗斌, 徐立祥 0723

融合残差Unscented粒子滤波和区别性稀疏表示的鲁棒目标跟踪

杨彪, 林国余, 张为公, 路小波, 张宇歆 0730

图像理解和计算机视觉

梯度约束SFS的月面地形重构

徐辛超, 刘少创, 徐爱功 0739

单幅自然场景深度恢复

曹风云, 方帅, 胡玉娟, 王浩, 杨雪洁 0746

区域语义多样性密度的图像标注

王方方, 蒋建国, 郭丹 0755

计算机图形学

鲁棒的网格实时几何编辑算法

汪悦, 邓元凯, 钱归平 0764

从表面重构的体数据实现3维网格剖分

刘君, 陈伟强, 熊邦书 0771

交错网格结构的涡粒子烟模拟

杨阳, 杨旭波 0781

遥感图像处理

应用区域统计特征的PolSAR影像分割

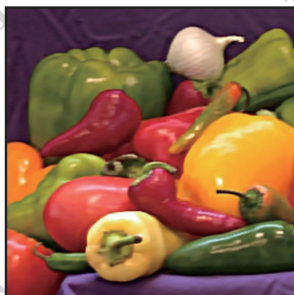
刘振宇, 余洁, 谢东海, 刘利敏 0789

采用分裂Bregman的遥感影像亮度不均变分校正方法

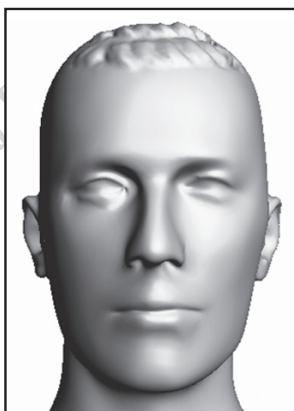
王晓静, 李慧芳, 袁强强, 沈焕锋, 张良培 0798

基于Wallis与距离权重增强的无人机影像拼接缝消除

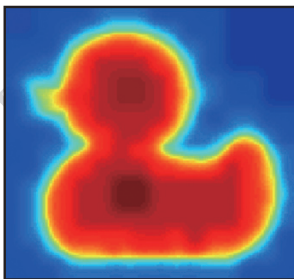
田金炎, 段福洲, 王乐, 李小娟, 屈新原 0806



处理异常值的相机抖动模糊图像复原(第677页)



鲁棒的网格实时几何编辑算法(第764页)



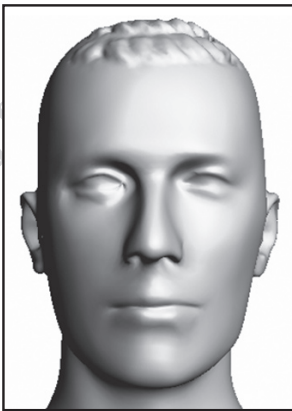
从表面重构的体数据实现3维网格剖分(第771页)

CONTENTS

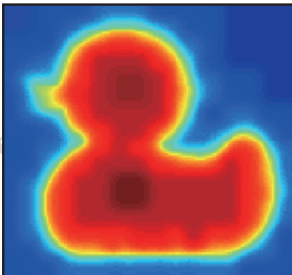
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Disposing of outliers in camera-shake blurred images restoration(P677)



Robust algorithm for real-time mesh geometric editing(P764)



Three-de mesh generation through volume data reconstructed from surface(P771)

Review

Image engineering in China: 2013 Zhang Yujin	0649
---	------

Image Processing and Coding

Performance analysis of CCSDS-IDC for SAR complex image data and quadtree-based SAR complex image data coding Hou Xingsong, Han Min, Gong Chen	0659
Image reconstruction of compressed sensing based on memory gradient pursuit Guo Qiang, Wu Chengdong	0670
Disposing of outliers in camera-shake blurred images restoration Nguyen Quangthi, Sun Junxi, Sun Yang, Liu Hongxi, Zhao Lirong, Liu Guangwen	0677
Logistic model for video caption enhancement Li Qinrui, Lyu Xueqiang, Li Zhuo, Liu Kun	0683

Image Analysis and Recognition

Neutrosophic image segmentation approach integrated LPG&PCA Zhang Guimei, Wang Dalei	0693
Motion coherence image segmentation fused with multi-feature Wei Guojian, Hou Zhiqiang, Li Wu, Yu Wangsheng	0701
Clustered multiple instance learning for mural image classification Tang Dawei, Lu Dongming, Xu Duanqing, Yang Bing	0708
Recognition of mitral annulus hinge point using additive SVM classifier Xu Wei, Yao Liping, Song Wei, Yang Xin, Sun Kun	0716
Iterative graph transformation matching algorithm Li Tingting, Tang Jin, Jiang Bo, Luo Bin, Xu Lixiang	0723
Robust object tracking incorporating residual unscented particle filter and discriminative sparse representation Yang Biao, Lin Guoyu, Zhang Weigong, Lu Xiaobo, Zhang Yuxin	0730

Image Understanding and Computer Vision

Lunar terrain reconstruction with SFS under gradient constraint Xu Xinchao, Liu Shaochuang, Xu Aigong	0739
Recovering depth from a single natural defocused image Cao Fengyun, Fang Shuai, Hu Yujuan, Wang Hao, Yang Xuejie	0746
Image annotation based on region-semantic diverse density Wang Fangfang, Jiang Jianguo, Guo Dan	0755

Computer Graphics

Robust algorithm for real-time mesh geometric editing Wang Yue, Deng Yuankai, Qian Guiping	0764
Three-de mesh generation through volume data reconstructed from surface Liu Jun, Chen Weiqiang, Xiong Bangshu	0771
Staggered grid structure for smoke simulation Yang Yang, Yang Xubo	0781

Medical Image Processing

Application region statistical characteristic for PolSAR imagery segmentation Liu Zhenyu, Yu Jie, Xie Donghai, Liu Limin	0789
Uneven intensity correction using split Bregman for remote sensing images Wang Xiaojing, Li Huifang, Yuan Qiangqiang, Shen Huanfeng, Zhang Liangpei	0798
UAV image seam elimination method based on Wallis and distance weight enhancement Tian Jinyan, Duan Fuzhou, Wang Le, Li Xiaojuan, Qu Xinyuan	0806

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)05-0701-07

论文引用格式: Wei G J, Hou Z Q, Li W, Yu W S. Motion coherence image segmentation fused with multi-feature[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(5): 701-707. [魏国剑, 侯志强, 李武, 余旺盛. 融合多特征的运动一致性图像分割[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(5): 701-707.]
[DOI:10. 11834/jig. 20140507]

融合多特征的运动一致性图像分割

魏国剑, 侯志强, 李武, 余旺盛

空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077

摘要: **目的** 在彩色图像分割中, 光流法能够得到运动区域, 但难以获得运动目标准确的分割边界, 而常用的算法往往会产生过分割。为了克服光流法的不足, 在保留显著性区域的同时抑制过分割, 从而获得具有运动一致性区域的分割结果, 提出融合多特征的运动一致性图像分割算法。 **方法** 首先通过 Mean Shift 算法获取图像的初始分割, 然后利用空域信息, 包括颜色、边缘和区域面积等对视觉感知上具有相似性的区域进行合并, 再利用时域信息进行运动一致性区域合并, 最终得到分割结果。 **结果** 实验结果表明通过结合时空信息, 该方法能够有效抑制过分割, 不仅弥补了光流场不能准确提取目标边缘的不足, 而且提高了分割目标的完整性。 **结论** 与两种流行的彩色图像分割算法相比, 所提方法获得了更加理想的结果。

关键词: 彩色图像分割; 运动一致性; 区域相似性度量; 区域合并

Motion coherence image segmentation fused with multi-feature

Wei Guojian, Hou Zhiqiang, Li Wu, Yu Wangsheng

School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China

Abstract: **Objective** During the segmentation of color image, optical flow methods can acquire the moving regions, but it can hardly obtain the correct segmentation boundaries of moving objects. Meanwhile, familiar algorithms usually suffer from over-segmentation. To overcome the shortage of optical flow method and suppress the over-segmentation, while preserving the salient regions, a new motion coherence image segmentation algorithm fused with multi-feature is proposed.

Method First, the initial regions are acquired by the Mean Shift algorithm; second, the regions with homogenization of visual sensing are merged by utilizing spatial information (including color, edge and region area); third, the motion coherence regions are merged by using temporal information; finally, the segmentation result is obtained. **Result** The experimental results demonstrate that by combining spatial-temporal information, the proposed method can suppress over-segmentation effectively. It therefore does not only make up for the shortage that correct object edges can hardly be acquired by using optical flow, while also increasing the completeness of the segmented objects. **Conclusion** Compared with two popular color image segmentation algorithms, our method gets better results.

Key words: color image segmentation; motion coherence; region similarity measurement; region merge

收稿日期: 2013-09-02; 修回日期: 2013-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(61175029)

第一作者简介: 魏国剑(1989—), 男, 空军工程大学信息与导航学院信号与信息处理专业硕士研究生, 主要研究方向为图像处理。

E-mail: guojian26@qq.com

0 引言

图像分割是图像分析和模式识别的首要问题,也是图像处理的经典难题之一^[1]。传统的图像分割算法包括基于区域的、基于边缘的和两者结合的分割方法^[2]。它们面临两方面的问题:一是有可能将主要目标分割到背景中去;二是存在过分割。这都将严重影响图像的后续处理与分析。

Kuan 等人^[3]提出一种基于颜色的显著性分割算法,并通过区域合并抑制过分割,但构建的区域重要性指标仅依赖面积和颜色,容易导致主要目标的重要性指标较小,继而被合并到背景中去;Ning 等人^[4]提出一种基于区域合并的交互式分割方法,首先使用 Mean Shift 聚类得到初始分割,再通过人工标注来引导区域合并,能够从较复杂的背景中提取目标,但交互式的前提使其难以满足无监督分割的要求;周家香等人^[5]将改进后的 Mean Shift 算法用于图像分割,利用基于区域面积加权的区域相似度准则和基于区域熵的合并停止准则进行区域合并,相比 EDISON 软件^[6]能得到更好的分割结果,但由于区域最大熵不一定能准确反映图像的空间结构信息,因而容易过早停止区域合并,对于复杂的自然图像效果不够理想。

将多种信息进行融合更有利于获得合理的分割结果^[7-8]。Li 等人^[9]使用分水岭算法获取初始分割,再通过颜色特征和边缘信息进行区域合并,仅当相似性距离最小的两个区域距离大于某一阈值时合并停止,不足之处在于使用单一的阈值和简单的准则会导致算法的鲁棒性不佳;余旺盛等人^[10]在标记分水岭分割的基础上,利用颜色距离、方差和边缘信息构建的综合距离度量进行区域合并,能够有效抑制过分割,但对纹理杂乱和复杂背景下的图像分割结果不够理想。

另外,研究者尝试利用运动信息进行图像分割。Bouthemy 等人^[11]利用光流场进行图像分割,但仅从光流信息出发,受光流场精确性的影响,对噪声敏感,容易导致分割的物体边界不够精确;Khan 等人^[12]将色彩分割和运动分割结合在一起,取得了比单一方法都好的效果,但对每一像素设置颜色项和运动项的权值,以及求解特征的密度估计使问题变得较为复杂;洪泽宏等人^[13]提出基于运动一致性的分割方法,但仅利用运动矢量导致分割结果比较粗

糙;张晓波等人^[14]提出一种视频对象分割方法,通过模板匹配和更新能够得到快速变化的对象,但基于变化检测和帧差法的技术路线使得最终分割的结果依然包含着较多噪声。

理论上根据光流场的不连续性可以将光流场分割成若干运动对象的区域,但实际上根据光流矢量的相似性很难将单个像素组合成运动对象^[15]。为了克服单一使用光流场的不足,在保留显著性区域的同时抑制过分割,获得运动一致性分割结果,本文提出融合多特征的运动一致性图像分割算法。主要特点包括:融合多种空间特征能够有效抑制过合并;通过分步合并的策略一方面弥补了仅使用光流场不能准确提取目标边缘的不足,另一方面通过时空域信息的有效结合提高了分割目标的完整性。

创新点主要有:1)多特征融合及利用时空信息分步合并的策略;2)基于光流的区域合并方法;3)改进的颜色距离度量;4)改进的区域合并停止准则。

1 融合多特征的运动一致性图像分割

提出结合空时域信息,并分别在空时域进行区域合并的运动一致性图像分割算法。首先,利用空域信息进行区域合并,保留强边缘信息;再利用光流场进一步合并运动一致性区域。算法流程图如图1所示。

首先,对第1帧图像进行初始分割,包括预处理(图1(b)) and Mean Shift 分割(图1(c)),然后利用多种空域特征进行相似性区域合并(图1(d)),再通过计算图像光流场(图1(e))获得时域运动信息,最后,进行运动一致性区域合并,得到分割结果(图1(f))。采用如图1(g)(h)的光流场可视化技术。通过每点处颜色的色度和饱和度分别代表光流场的方向和幅度。

1.1 初始分割

1.1.1 预处理

首先,使用中值滤波去除点噪声,再使用 Mean Shift 平滑图像,在滤除噪声的同时,达到保持图像边缘的目的。

1.1.2 Mean Shift 分割

基于 Mean Shift 的图像分割方法本身具有较少的过分割,另外能够很好地保持目标边缘^[4]。

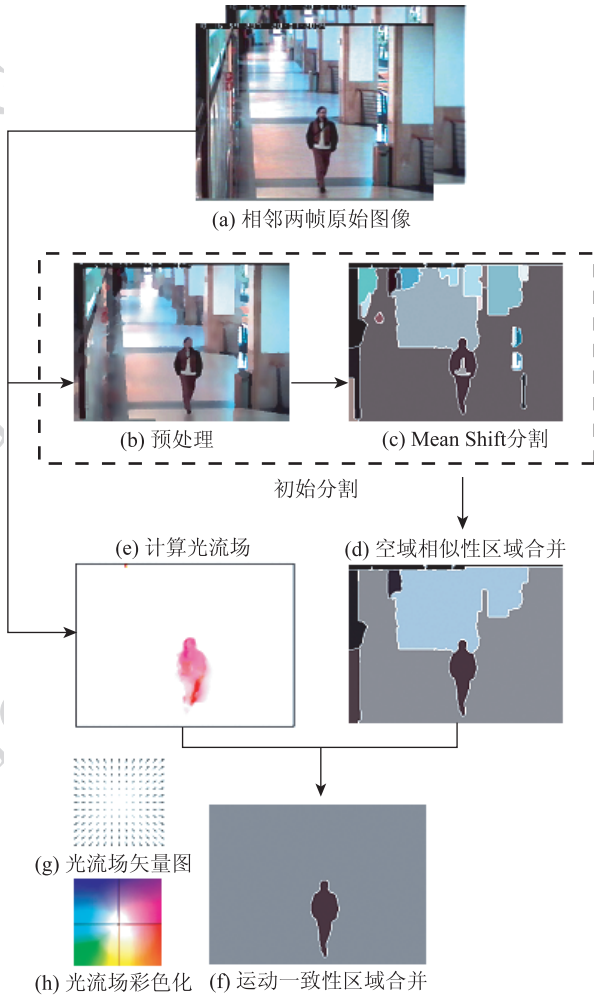


图 1 算法流程图

Fig. 1 Flowchart of the proposed algorithm

使用 Rutgers 大学 Robust Image Understanding 实验室开发的基于固定带宽 Mean Shift 算法的图像边缘检测与分割工具包 EDISON^[15]进行图像的初始分割。

1.2 利用空域信息进行区域合并

区域相似性度量是进行区域合并的一个重要标准,直接决定着区域合并的结果^[16],合并停止准则影响最终分割区域的多少,这两者是决定区域合并算法优劣的关键。

$$CD(i, j) = \sqrt{\frac{A_i \times A_j}{A_i + A_j}} \times \sqrt{(\bar{C}_{il} - \bar{C}_{jl})^2 + (L_i \times \bar{C}_{ia} - L_j \times \bar{C}_{ja})^2 + (L_i \times \bar{C}_{ib} - L_j \times \bar{C}_{jb})^2} \quad (2)$$

式中, $CD(i, j)$ 代表区域 i 和 j 的颜色距离, A_i 为区域 i 的面积, $\bar{C}_{il}$, $\bar{C}_{ia}$ 和 $\bar{C}_{ib}$ 分别代表区域 i 的 L、a、b 分量的均值, $L_i = 1 - \frac{|\bar{C}_{il} - 50|}{50}$ 代表对区域 i 中 a、b 分量的感知加权系数, $\bar{C}_{il}$ 越偏离 50, L_i 越小, 体现了亮度对色彩感知的影响。

将改进区域相似性度量和区域合并停止准则, 以充分利用空域信息(包括颜色、边缘和区域面积)对视觉感知上具有同一性的区域进行合并。

1.2.1 区域空间信息相似性度量

为了充分利用空间信息, 有效地进行区域合并, 在文献[3]方法的基础上, 调整了 3 种量间的权重, 并对颜色距离进行了改进。

区域空间信息相似性度量为

$$Rs(i, j) = w_1 \frac{CD(i, j)}{\max(CD)} + w_2 \left(1 - \frac{BL(i, j)}{\max(BL)} \right) + w_3 \frac{RA(i, j)}{\max(RA)} \quad (1)$$

式中, $CD(i, j)$ 代表区域 i 和 j 之间的颜色距离, $BL(i, j) = \text{length}(BL_i \cap BL_j)$ 代表 i, j 区域的公共边界长度(BL_i 表示区域 i 的公共边界长度); $RA(i, j) = A_j$ 代表区域 i 的邻接区域 j 的面积。假设当前分割区域数为 N , 则 CD, BL, RA 均为 $N \times N$ 矩阵。 $\max(CD)$ 代表矩阵 CD 中的最大值, 其他依此类推。由于量级不同, 构建相似性度量时对三者均做了整数映射。 w_1, w_2, w_3 用于控制 3 种相似性间的比重。式(1)表明区域 i, j 之间颜色越接近, 公共边界越长, j 的面积越小, 则 j 越应当合并到 i 中去。实验发现文献[3]中的系数容易将颜色唯一但面积较小的区域合并掉, 保持 $w_1 = 2$ 不变, 将 w_2 由 1.75 改为 1.5, w_3 由 1.5 改为 0.25, 能够有效抑制过合并。

相比文献[3]方法, 对颜色距离进行了 3 个方面改进: 一是在 CIE(international commission on illumination) Lab 颜色空间进行颜色距离度量(Lab 颜色空间由亮度通道 L、红绿颜色通道 a 和蓝黄颜色通道 b 组成, 最大的优点是视觉色差与颜色欧氏距离成正比, 且颜色分布均匀^[17-18]); 二是利用人类视觉中过亮或过暗会降低色彩感知的特点^[19], 使用 L 分量的函数对 a、b 分量加权; 三是使用区域面积对颜色距离加权, 使小块区域能优先被合并。改进后的颜色距离度量为

1.2.2 区域合并停止准则

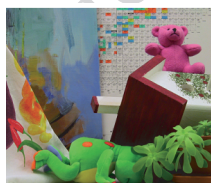
文献[20]通过最小化区域颜色散度与区域数目比之和作为判断区域合并停止的准则, 通过实验发现该方法具备很好的适应性, 但存在一定程度的过合并, 容易将颜色明显不一致的区域合并掉。使用面积加权区域色差的极大奇异值来定义区域散度, 即

$$J_r = \frac{\sum_{i=1}^r (A_i \times \Delta_i)}{A \times \Delta} \quad (3)$$

式中, J_r 代表区域数为 r 时的图像散度, A_i 为区域 i 的面积, A 为整幅图像的面积, $\Delta_i = \|C_i - \bar{C}_i\|_2$ 为区域 i 所有像素颜色值与区域颜色均值之差的 2-范数, $\Delta = \|C - \bar{C}\|_2$ 为整幅图像所有像素颜色值与颜色均值之差的 2-范数。 $C_i = [C_{iL}, C_{ia}, C_{ib}]_{m \times 3}$ 代表区域 i 所有像素的颜色值, m 为区域 i 的像素总数, $\bar{C}_i = [\bar{C}_{iL}, \bar{C}_{ia}, \bar{C}_{ib}]_{1 \times 3}$ 为区域 i 的颜色均值, $C = [C_L, C_a, C_b]_{A \times 3}$ 代表整幅图像所有像素的颜色值, $\bar{C} = [\bar{C}_L, \bar{C}_a, \bar{C}_b]_{1 \times 3}$ 为整幅图像的颜色均值。由于 Δ_i 为矩阵的 2-范数, 代表 $(C_i - \bar{C}_i)$ 的最大奇异值, Δ 则为整幅图像的最大奇异值。

设初始分割的区域总数为 N , $K = r/N$ 表示剩余的区域数比。记区域合并准则度量 $SC = J_r + K$, 与文献[20]类似, 区域合并停止准则定义为

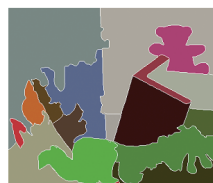
$$\arg \min_r (J_r + K) \quad (4)$$



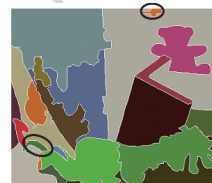
(a) teddy序列第1帧



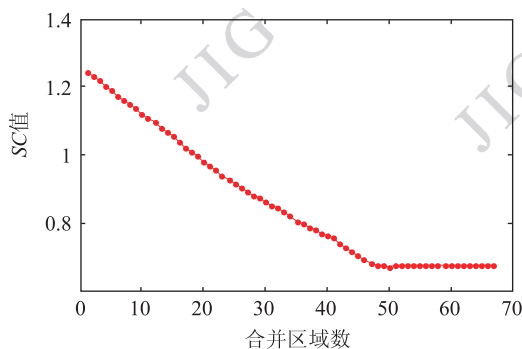
(b) teddy序列第2帧



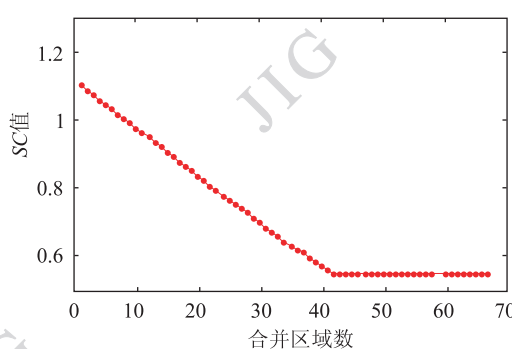
(c) 改进前空域合并结果



(d) 改进后空域合并结果



(e) 改进前合并区域数曲线



(f) 改进后合并区域数曲线

图2 区域合并停止准则比较

Fig. 2 Comparison of region merging criteria

1.3 利用时域信息进行区域合并

根据空域信息能够有效地合并视觉感知上相近的区域, 但当同一目标包含差异较大的若干区域时, 仅通过空间信息难以有效分割出完整的目标。考虑同一目标具有运动的一致性(不考虑大的形变或只考虑目标的主体), 在空域合并的基础上, 利用时域信息再次进行区域合并, 有利于分割出完整的目标。

即当图像散度与保留区域数比达到最佳折衷时停止区域合并。

由于图像受到轻微扰动时, 它的奇异值不会发生剧烈的改变^[21], 使用面积加权色差奇异值的比来表示图像的散度, 理论上区域合并的结果更加稳定, 能够保留微小但颜色唯一性高的区域, 抑制过合并。

改进前后的区域合并准则比较如图2所示。改进后的区域合并结果包含小熊上部的橙色小斑块和辣椒的茎干等区域, 这些面积较小但与邻域颜色特性不一致的区域都被保留下来。SC-合并区域数曲线反映了SC值与被合并区域数的关系, 区域合并过程停止于SC值开始保持不变的位置。由改进前后的SC-合并区域数曲线可以看出, 改进前的方法合并掉50个区域, 而改进后的方法只合并了42个区域, 保留了一定数量的小区域。实验结果验证了使用奇异值散度设计的合并停止准则对于抑制过合并与保留显著性小区域的有效性。

运动是时域信息的重要体现, 包含着目标丰富的表现变化与姿态属性。使用光流场来表示目标的运动信息, 通过建立区域运动信息相似性度量并对运动一致性区域合并, 最终获得分割结果。

1.3.1 光流场计算

当前, 基于变分的光流场估计方法最为流行^[22]。在变分框架下, 利用超松弛迭代加速线性方

程组求解的光流算法^[23-24]来确定图像的光流信息。

1.3.2 区域运动信息相似性度量

为了对运动一致性区域进行合并,通过如下方法建立区域运动信息相似性度量:

1) 计算整幅图像的光流场,得到光流幅度图和方向图。

2) 计算区域主光流,按照空域合并后的区域标记,在每个区域统计光流主方向 θ_i 和主幅值 R_i 。

(1) 主方向的计算。按照方向将区域中的光流矢量分配到 4 个象限,每一象限对应一定数量的光流矢量的集合,集合元素最多的象限记为 Q ,在 Q 内计算光流方向的均值,将其作为该区域的光流主方向。

(2) 主幅值的计算。在 Q 内计算光流幅度的均值,将其作为该区域的光流主幅值。

3) 计算区域光流的相似性。定义两个区域之间光流的相似性为

$$Fs(i, j) = \sqrt{(R_i - R_j)^2} \times \text{angle}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j) \quad (5)$$

式中, $\mathbf{F}_i = (R_i \cos \theta_i, R_i \sin \theta_i)$ 代表区域 i 的主光流矢量,区域 i 和 j 主光流的夹角为

$$\text{angle}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j) = \arccos\left(\frac{\mathbf{F}_i \cdot \mathbf{F}_j}{R_i \times R_j}\right) \quad (6)$$

两个区域间,主光流幅值越接近,夹角越小则两者间的光流相似性越大。通过计算每两个区域之间的光流相似性,最终建立区域光流相似性矩阵。

1.3.3 运动一致性区域合并

根据区域光流相似性矩阵,从第 1 个区域开始,若满足一定的条件则进行区域合并,否则转到下一个区域,直到处理完最后一个区域为止。

1) 假设当前处理第 i 区域,根据区域邻接关系

和光流相似性矩阵,找到与当前区域具有最大运动相似性的区域,记为第 j 区域;

2) 如果第 i 和第 j 区域的主光流的夹角 $\text{angle}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j) < \frac{\pi}{18}$,主幅值差异的绝对值 $|R_i - R_j| < 0.3 \times \max\{R_i, R_j\}$,判定这两个区域具有运动一致性,需要进行合并,否则转到下一个区域;

3) 每合并一次更新一次区域光流信息、区域标记和区域邻接矩阵。

后处理(运动区域滤波):将小于最大光流主幅值 10% 的区域合并到与其光流相似性最大的区域。

上述 3 个阈值($\pi/18$ 、0.3 和 10%)由人工选取,分割的区域总数与其数值成反比。实验发现选取上述数值能够在保留主要目标与抑制过分割之间取得较好的平衡。不同场合下其值也可相应地调整。

2 实验结果及分析

2.1 实验方法

将本文算法与 Mean Shift 分割算法^[15]和标记分水岭分割算法^[9]进行比较,实验平台为:主频 2.6 GHz,内存 2 GB 台式机,Matlab R2011a 软件。Mean Shift 平滑的空间带宽和值域带宽分别设为 6 和 10,Mean Shift 分割中的空间带宽和值域带宽分别设定为 7 和 14 来尽可能保留更多的区域。

2.2 结果比较

不同算法的图像分割结果比较如图 3 所示,通过区域颜色均值加边缘来表示分割结果。

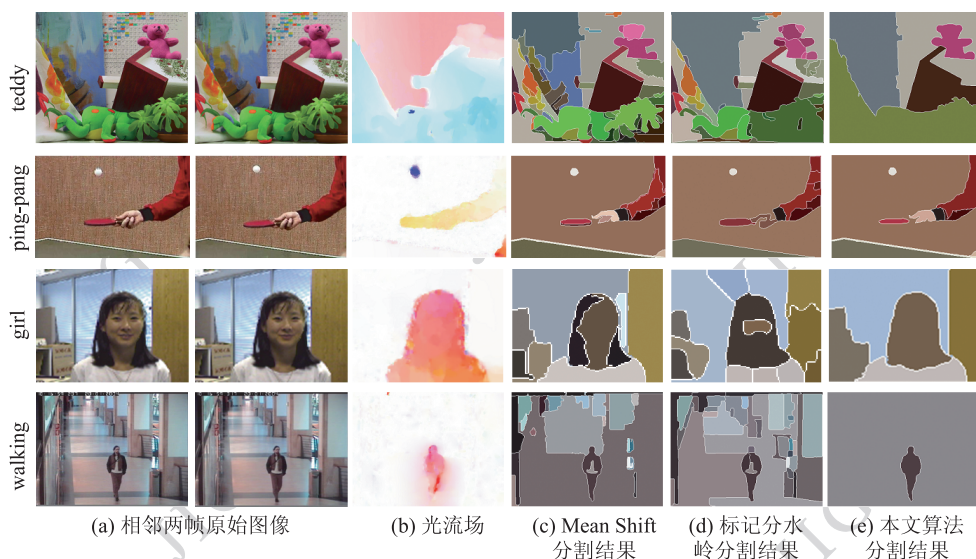


图 3 图像分割结果比较

Fig. 3 Comparison of segmentation results of different algorithms

teddy 序列分割结果中,光流场中小熊的边界比较模糊,且与背景发生混淆;Mean Shift 分割结果能较好地反映出不同区域间颜色信息的差异,但将 Teddy 熊分成了 3 个部分,破坏了目标的完整性;标记分水岭分割结果同样不能保证目标的完整性,分割的区域可分性不高,例如将 Teddy 熊和屋顶合并在一起;本文算法完整保留了主要目标,得到的不同区域在运动方面具有一致性。

ping-pang 序列分割结果中 Mean Shift 分割将人手和胳膊均分成了若干区域;标记分水岭分割结果丢失了部分球拍和手部区域;本文算法得到的结果更加准确。

girl 序列分割结果中,Mean Shift 分割将人运动一致的头发和面部分成了两个区域,头后部包含若干杂乱区域;标记分水岭分割结果丢失了人的右侧肩膀,并包含较多杂乱区域;本文算法得到了准确的运动一致性区域。

walking 序列分割结果中,光流场中人体不够完整,边缘不够清晰;Mean Shift 算法没有合并掉地板区域,人体不够突出;标记分水岭分割结果存在较多过分割,并将人体割裂为多个区域;本文算法完整地保留了人体区域,有效地抑制了杂乱的背景信息。

采用分割区域总数来定量比较不同算法抑制过分割的能力,结果如表 1 所示。可以看出本文算法在保留显著性目标的同时,获得的分割区域总数最小,相比其他两种方法,能够明显地抑制过分割。

表 1 分割区域总数

Table 1 Total number of segmented regions

算法	teddy	ping-pang	girl	walking
Mean Shift 分割	67	16	11	27
标记分水岭分割	55	12	14	39
本文	5	11	5	2

2.3 结果分析

为了在抑制过分割的同时避免将主要目标分割到背景中去,本文算法首先通过设定合适的空间带宽和值域带宽,并保留较小的区域来得到更多的初始分割区域,然后通过空域、时域的两步合并策略来最终达到分割出完整目标的目的。时空信息的有效结合,使本文算法获得了比 Mean Shift 分割算法和标记分水岭分割算法更好的效果。

3 结 论

提出一种融合多特征的运动一致性图像分割算法。与当前流行的两种彩色图像分割算法相比,本文算法很好地抑制了过分割,提高了分割区域的准确性和目标的完整性,所提出的空时域分步合并算法合理有效。下一步工作将利用图像一致性分割结果,在视频序列中检测和提取运动目标,实现对运动目标的跟踪。

参考文献 (References)

[1] Lin K Y, Wu J H, Xu L H. A survey on color image segmentation techniques [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1):1-10. [林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 彩色图像分割方法综述 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(1):1-10.] [DOI: 10.11834/jig.20050103]

[2] Xu X Z, Ding S F, Shi Z Z, et al. New theories and methods of image segmentation [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2A):76-82. [许新征, 丁世飞, 史忠植, 等. 图像分割的新理论和新方法 [J]. 电子学报, 2010, 38(2A):76-82.]

[3] Kuan Y H, Kuo C M, Yang N C. Color-based image salient region segmentation using novel region merging strategy [J]. IEEE Trans. on Multimedia, 2008, 10(5):832-845.

[4] Ning J F, Zhang L, Zhang D, et al. Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(2):445-456.

[5] Zhou J X, Zhu J J, Zhao Q H. Images segmentation by integrating two approaches of improved Mean Shift and region merging [J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(6):98-101. [周家香, 朱建军, 赵群河. 集成改进 Mean Shift 和区域合并两种算法的图像分割 [J]. 测绘科学, 2012, 37(6):98-101.]

[6] Christoudias C M. Edge Detection and Image Segmentation (ED-ISON) System ver1.0 [EB/OL]. 2003-04-14 [2013-08-10]. www.caip.rutgers.edu/riul/

[7] Zhu S C, Yuille A. Region competition: unifying snakes, region growing, and Bayes/MDI, for multiband image segmentation [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(9):884-900.

[8] Fan J, Yan D K Y, Elmagarmid A K, et al. Automatic image segmentation by integrating color-edge extraction and seeded region growing [J]. IEEE Trans. on image Processing, 2001, 10(10):1451-1466.

[9] Li S Q, Xu J C, Ren J Y, et al. A color image segmentation algorithm by integrating watershed with region merging [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2012, 7414(1):167-173.

[10] Yu W S, Hou Z Q, Song J J. Color image segmentation based on marked-watershed and region-merger [J]. Acta Electronica Sini-

- ca, 2011, 39(5):1007-1012. [余旺盛, 侯志强, 宋建军. 基于标记分水岭和区域合并的彩色图像分割 [J]. 电子学报, 2011, 39(5):1007-1012.]
- [11] Bouthemy P, Francois E. Motion segmentation and qualitative dynamic scene analysis from an image sequence [J]. IJCV, 1993, 10(2):157-182.
- [12] Khan S, Shah M. Object based segmentation of video using color, motion and spatial information [C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Colorado Springs: IEEE, 2011, 2: 746-751.
- [13] Hong Z H, Wang Z H, Zhou R J. An method for video object segmentation based on motion homogenization [J]. Journal of Naval University of Engineering, 2007, 19(4):90-94. [洪泽宏, 王占辉, 周榕军. 基于运动一致性的视频对象分割方法研究 [J]. 海军工程大学学报, 2007, 19(4):90-94.]
- [14] Zhang X B, Liu W Y, Lv D W. Automatic video object segmentation algorithm based on spatio-temporal information [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2008, 19(3):384-387. [张晓波, 刘文耀, 吕大伟. 基于时空信息的自动视频对象分割算法 [J]. 光电子·激光, 2008, 19(3):384-387.]
- [15] Liu Z, Yang J, Peng N S. Video object segmentation based on hypothesis testing and region merging [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2004, 19(2):124-129. [刘志, 杨杰, 彭宁嵩. 基于假设检验和区域合并的视频对象分割 [J]. 数据采集与处理, 2004, 19(2):124-129.]
- [16] Li G, Wang Z Y, Hou Z Q. Color image segmentation algorithm based on k-means clustering and region merging [J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(2):354-358. [李光, 王朝英, 侯志强. 基于K均值聚类与区域合并的彩色图像分割算法 [J]. 计算机应用, 2010, 30(2):354-358.]
- [17] Liu H, Zhang Y S, Zhang Y H, et al. Vector morphology image processing based on difference formula in uniform space [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(12):2145-2151. [刘辉, 张云生, 张印辉, 等. 均匀空间色差度量的矢量形态学图像处理 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(12):2145-2151.]
- [18] Chen L X, Chen Z J. Image retrieval algorithms based on lab space [J]. Computer Engineering, 2008, 34(13):224-226. [陈丽雪, 陈昭炯. 基于Lab空间的图像检索算法 [J]. 计算机工程, 2008, 34(13):224-226.]
- [19] Zhang S M. The method of color image segmentation based on color clustering and region growing [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008. [章三妹. 基于聚类和区域生长的彩色图像分割方法 [D]. 成都: 成都理工大学, 2008.]
- [20] Ye Q X, Gao W, Wang W Q, et al. A color image segmentation algorithm by using color and spatial information [J]. Journal of Software, 2004, 15(4):522-530. [叶齐祥, 高文, 王伟强, 等. 一种融合颜色和空间信息的彩色图像分割算法 [J]. 软件学报, 2004, 15(4):522-530.]
- [21] Zhang J H. Digital watermarking techniques based on image segmentation and svd [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(2):146-150. [张金辉. 基于图像分割和SVD的数字水印算法 [J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(2):146-150.]
- [22] Brox T, Malik J. Large displacement optical flow: descriptor matching in variational motion estimation [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(3):500-513.
- [23] Liu C. Beyond pixels: exploring new representations and applications for motion analysis [D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- [24] Liu C. Optical Flow Matlab/C++ Code [EB/OL]. 2011-08-01 [2013-08-10]. <http://people.csail.mit.edu/cehui/Optical-Flow/>