

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **5**
Vol.17 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

2012年5月 第17卷 第5期(总第193期)

目次

综述

- 中国图像工程:2011 章毓晋(603)
- 植物叶片表面质感建模与真实感绘制研究进展 田原,赵春江,陆声链,郭新宇(613)

图像处理和编码

- 高位有效位概率算术解码的图像密写改进算法 马丽红,吕先明,高小满(621)
- 滑动平均和改进权重函数的快速非局部平均图像去噪算法 熊波,尹周平(628)
- 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用 范有臣,李迎春,韩意,张来线(635)

图像分析和识别

- 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法 张桂梅,周明明,马珂(641)
- 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪 陈莹,艾春璐(648)
- 图像斑状特征位置与尺寸的自动检测 王志衡,刘红敏(656)
- 改进极化白化滤波的边缘检测 邓少平,张继贤,李平湘,黄国满(665)
- 联合特征在行人检测中的应用 杨阳,杨静宇(671)
- Gabor 相位特征的人脸光照不变量提取 范春年,张福炎(676)

图像理解和计算机视觉

- 保持几何特征的自适应弹性二次曲线模型 蒋建国,郝世杰,郭艳蓉,詹曙,李鸿(682)
- 局部颜色映射的彩色夜视算法 钱小燕,张天慈,王帮峰,黄圣国(689)
- 结合分支定界法和线性规划的摄像机位姿估计 马文娟(694)

金字塔评分改进主方向模板匹配的实时目标检索 洪朝群,朱建科,李娜,卜佳俊,陈纯(700)

计算机图形学

类曲率在曲线相似性判定中的应用 于昊,赵乃良,陈小雕(707)

虚拟现实与增强现实

人机系统中视域评估的可视化 李倩,吉晓民,林文周(715)

遥感图像处理

小波方向子带偏微分方程遥感图像去噪 王相海,李放,王爽(721)

遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价 孟天佑,汪云甲(729)

地理信息技术

点要素扇形缓冲区的设计与应用 侯景伟,孔云峰,张迪,吕可文(740)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第5期

2012年5月16日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
 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
 北京9718信箱 邮编 100101
 电子信箱:jig@irsa.ac.cn
 电话:010-68407995 010-82614429
 网 址:www.cjig.cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第0346号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
 (中国国际书店)
 (北京399信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
 CAS China Society of Image and Graphics
 Institute of Applied Physics and Computational
 Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
 of Journal of Image and Graphics
 (P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
 E-mail:jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
 and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
 (P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 5 May 2012

Contents

Review

- Image engineering in China: 2011 Zhang Yujin (603)
- Advances in appearance modeling and photorealistic rendering of plant leaves
..... Tian Yuan, Zhao Chunjiang, Lu Shenglian, Guo Xinyu (613)

Image Processing and Coding

- Most significant bits probability arithmetic decoding for improved image steganography
..... Ma Lihong, Lv Xianming, Gao Xiaoman (621)
- Fast non-local means for image de-noising on moving average and modified weight function Xiong Bo, Yin Zhouping (628)
- Weakening of smoke for homomorphic filtering Fan Youchen, Li Yingchun, Han Yi, Zhang Laixian (635)

Image Analysis and Recognition

- Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke (641)
- Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching Chen Ying, Ai Chunlu (648)
- Automatically detecting position and size of blob features in images Wang Zhiheng, Liu Hongmin (656)
- Improved polarimetric whitening filter for edge detection Deng Shaoping, Zhang Jixian, Li Pingxiang, Huang Guoman (665)
- Pedestrian detection based on compound feature Yang Yang, Yang Jingyu (671)
- Illumination invariant extraction on Gabor phase Fan Chunnian, Zhang Fuyan (676)

Image Understanding and Computer Vision

- Adaptive geometrical-feature-preserving elastic quadratic wire model
..... Jiang Jianguo, Hao Shijie, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong (682)
- Color night vision algorithm based on local color mapping ... Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, Huang Shengguo (689)
- Camera pose estimation using branch and bound method with linear programming Ma Wenjuan (694)
- Real-time object retrieval with dominant orientation template matching improved by pyramid scoring
..... Hong Chaoqun, Zhu Jianke, Li Na, Bu Jiajun, Chen Chun (700)

Computer Graphics

- Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves
..... Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao (707)

Virtual Reality and Augmented Reality

- Visualization of the visual range assessment in man-machine system Li Qian, Ji Xiaomin, Lin Wenzhou (715)

Remote Sensing Image Processing

- Remote sensing image de-noising on partial differential equation in wavelet directional subband
..... Wang Xianghai, Li Fang, Wang Shuang (721)
- Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality Meng Tianyou, Wang Yunjia (729)

Geoinformatics

- Design and applications of sector buffers for point feature
..... Hou Jingwei, Kong Yunfeng, Zhang Di, Lv Kewen (740)

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)05-0648-08

论文引用格式: 陈莹, 艾春璐. 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 648-655

均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪

陈莹, 艾春璐

江南大学 轻工过程先进控制教育部重点实验室, 无锡 214122

摘要: 提出利用均衡化特征匹配来进行非刚性细胞形跟踪的方法。采用重启的随机游走方法建立并求解特征匹配概率模型, 利用双向均衡方法对匹配邻接矩阵进行均衡化处理, 得到指定目标与待跟踪目标之间的精确匹配, 以获得目标的定位跟踪结果。同时利用特征匹配结果进行目标的自动标定, 并应用图像分割方法进行目标的精确轮廓跟踪。实验结果表明, 将该方法应用于视频中动态背景下的运动细胞形态跟踪时, 在背景相似度较高及目标迅速移动的条件下, 表现出了良好的性能, 与同类方法相比可获得较高的定位精度以及更为准确的目标轮廓。
关键词: 均衡化概率模型; 特征匹配; 图像分割; 目标定位; 细胞形态跟踪

Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching

Chen Ying, Ai Chunlu

Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry (Ministry of Education), Jiangnan University, Wuxi 214122, China

Abstract: A new algorithm of non-rigid cell tracking based on balancing feature matching is proposed. A probabilistic model is established and solved using Random Walks with Restart (RWR). An efficient method for bidirectional balance is presented to balance the adjacency matrix of RWR, and then a precise matching between objects under different deformations is completed. The position tracking is accomplished based on the matching results. At the same time, an automatic calibration to object is presented with the results of the feature matching. A precise object contour tracking is presented with a method for image segmentation. We prove by experiment that the method shows good performance in the conditions of high background similarity and fast moving objects when used for tracking moving cell under dynamic background in videos. More accurate localization and target contour description can be obtained compared with other methods.

Key words: balanced probabilistic model; feature matching; image segmentation; object localization; cell contour tracking

0 引言

运动目标的跟踪是计算机视觉领域研究的热点之一, 它在人机接口、智能控制、运动分析、虚拟现实以及基于模型的视觉编码等方面都有着广泛

的应用。在目标的跟踪过程中, 存在许多的困难, 如目标的部分遮挡, 目标自身的旋转以及摄像机角度或焦距的大幅度调整, 跟踪目标的形状、位置发生急剧变化, 背景环境复杂, 目标与背景相似度较高等, 这些问题的存在都给跟踪带来了极大的挑战性, 在这样的条件下, 如何找到一种定位准

收稿日期: 2011-04-19; 修回日期: 2011-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(61104213); 江苏省自然科学基金项目(BK2011146); 上海交通大学系统控制与信息处理教育部重点实验室开放基金项目(SCIP2011008)

第一作者简介: 陈莹(1976—), 女, 副教授, 2005年于西安交通大学获控制科学与工程专业博士学位, 主要研究领域是计算机视觉和信息融合。E-mail: chenying1976@gmail.com

确、抗干扰能力强的跟踪方法,近年来引起了许多研究人员的关注。

对于一个给定目标的图像序列,通过跟踪目标轮廓,在图像中找到感兴趣的部分,称为基于运动物体轮廓的跟踪,是计算机视觉领域的一个重要研究方向。尤其是对于非刚性物体,轮廓或外形是最具有代表性的描述特征。对于非刚性目标的形体跟踪,可以分两部分来完成,一部分是目标的定位跟踪,另一部分是目标的轮廓提取。在目标定位部分,比较常用的两种算法是均值漂移(MeanShift)^[1-2]算法和 CamShift (continuously adaptive mean shift) 算法^[3]。CamShift 算法以 MeanShift 算法为核心,与 MeanShift 算法相比,具有较好的实时性和自适应性,可以完成一些具有特定颜色的目标跟踪,但在复杂背景下、运动目标色彩丰富或者与背景颜色比较接近时,跟踪结果往往难以令人满意。在目标轮廓提取算法中,可变模型跟踪和 Snake 跟踪是两种比较典型的算法。其中,可变模板跟踪^[4]是根据一定的限制条件得到的纹理或边缘的面板或曲线,这种方法过于依赖被跟踪目标形状的先验知识,且当有轻微的扰动时,物体的轮廓就会被扭曲。Snake 模型由 Kass 等人提出的,最初提出时被用于实现对人的唇动的跟踪,这种算法得到了广泛的应用,并且证明了其比较适用于跟踪非刚体的运动^[5-7],但 Snake 模型比较适合单目标的跟踪,对于多个目标的跟踪效果并不好。而且,当图像序列中存在噪声干扰、目标遮挡、目标边缘模糊等情况时,仅靠这两种模型很难得到准确的轮廓,因此需要一种鲁棒性更强的算法来完成非刚性目标的形体跟踪。

在模式识别领域,利用局部不变特性描述对象取得了比较大的成绩,其中,SIFT 特征描述^[8]是目前应用最为广泛,也是最有效的方法。它对于一定程度的光照变化、缩放变化以及仿射变化都具有较强的鲁棒性。本文在 SIFT 描述的基础上,利用重启的随机游走(RWR)模型估计出每组候选匹配点的似然值,并设计一种双向均衡方法获取邻接矩阵的均衡性,进而获得前后帧图像特征点的精确匹配,实现目标整体定位。然后利用得到的特征匹配点以及简单的灰度及梯度信息进行目标的自动标定,结合图像分割方法中的 Growcut 方法,实现噪声环境下目标边缘轮廓的精确跟踪。实验证明,算法对复杂背景下以及目标的形状、位置发生急剧变化情况下的非刚性细胞形态跟踪问

题具有较好的准确性和适应性,并且对一定程度的光照变化具有鲁棒性,跟踪效果良好,具有较好的实用价值。

1 目标跟踪系统框架

针对当前目标形体跟踪过程中对目标扭曲敏感、与其他物体距离较近时跟踪效果较差的缺陷,本文利用局部不变特性方法描述对象,对目标提取 SIFT 特征。得到的 SIFT 特征点大部分都位于真正的目标上,且包含丰富的图像信息。在此基础上,利用一种基于概率模型的匹配方法得到精确的匹配对,从而基本准确地定位目标所在的位置,为后续正确的形体跟踪奠定良好的基础。同时,为了更好地完成目标的轮廓提取,本文利用得到的特征匹配点以及一些简单的图像灰度及梯度信息进行目标的自动标定,给出目标和背景标签,这样可以为下一步的算法提供一个分割依据,并且也省去了人工标定的复杂性,提高了程序的自动化程度,然后再利用 Growcut 方法进行非刚性目标的形体跟踪。

算法的流程图如图 1 所示。

为获取跟踪过程中前后帧的特征匹配,建立一个概率模型,然后提取目标的 SIFT 特征作为候选匹配集,再利用 RWR 方法^[9]求解概率模型,并利用一种双向均衡方法获取邻接矩阵的均衡性,最后运用与文献[10]中相类似的方法得到最优的正确匹配集,从而可通过前后帧目标匹配点的对应关系,获得跟踪过程中目标的基本定位。

利用得到的特征匹配点以及一些简单的图像灰度及梯度信息进行目标的自动标定,结合 Growcut 方法得到目标的边缘轮廓,完成非刚性目标精确的形体跟踪。算法的具体步骤如下:

- 1) 在视频的第一帧,手工标记包含目标的矩形框,并提取矩形框内图像的 SIFT 特征,同时手工标定目标以及背景;
- 2) 提取下一帧图像的 SIFT 特征,利用基于均衡化概率模型的特征匹配方法,将前一帧图像中提取得到的矩形框内的特征点与当前帧图像的 SIFT 特征进行匹配,得到匹配对;
- 3) 根据步骤 2) 中得到的待跟踪图像中的匹配点,基本确定目标的位置,并以匹配点为标准确定一个矩形区域,其中包含了目标;
- 4) 在步骤 3) 中得到的矩形框中,先利用步骤

2) 中得到的特征匹配点以及一些简单的图像灰度及梯度信息进行目标的自动标定;

5) 结合 Growcut 方法进行目标边缘轮廓的跟踪, 得到非刚体的精准轮廓信息, 由此, 确定了目标的精确位置以及基本形态, 返回步骤 2), 直到完成整个视频的跟踪。

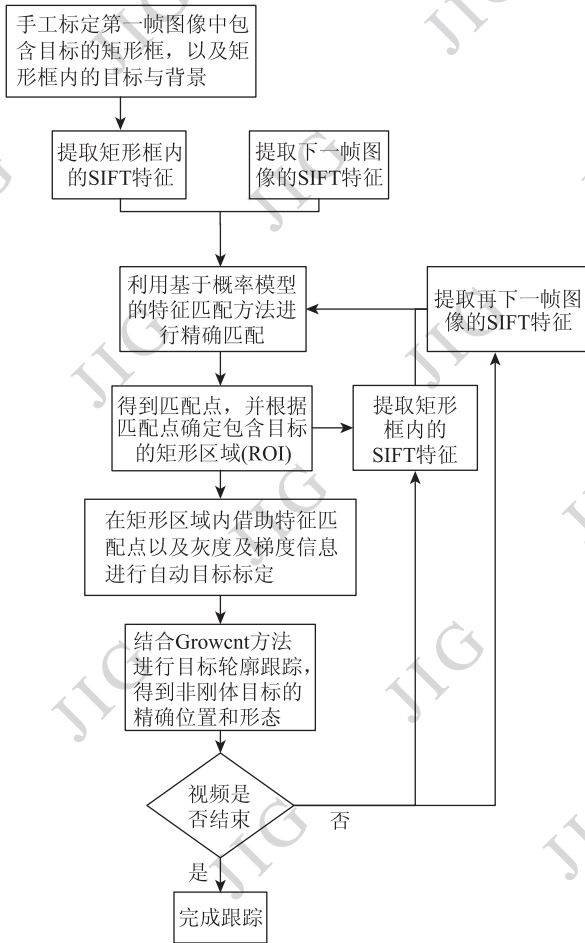


图 1 目标跟踪算法框架

Fig. 1 The framework of object tracking algorithm

2 基于均衡化特征匹配的目标定位跟踪

为了实现跟踪过程中精确的目标定位, 将定位算法建立在一种精确的特征匹配方法的基础上, 以均衡化概率模型建立前后帧图像中目标与变形候选目标之间的特征匹配^[11]。在匹配算法中, 设 x_n 和 x'_n 是从两幅图像 X 和 X' 中提取出的特征值, 候选匹配集合 $L = \{l_n\}_{n=1, \dots, N}$, 其中 $l_n = (x_n, x'_n)$ 表示一种对应关系, N 是匹配集合中待匹配点对或特征匹配

对的数目。由于 SIFT 特征描述符^[5,12]对一般的图像变形具有最大的容忍性, 因此, 本文通过提取两幅待匹配图像的 SIFT 特征, 并利用最近邻方法, 初步确定两幅图像中的特征点对应关系。令 e 表示候选点匹配事件, 则将似然值 θ_n 定义为^[9]

$$\theta_n = p(l_n | e) = \sum_{l_k \in L} p(l_n | l_k, e) p(l_k | e) = \sum_{l_k \in L} \pi_n^k \eta_k \quad (1)$$

式中, l_k 表示一组匹配对, $k = 1, \dots, N$, $\pi_n^k = p(l_n | l_k, e)$ 代表联合概率分布, 反映了候选匹配 l_n 与 l_k 之间的几何相关性, $\eta_k = p(l_k | e)$ 是其初始分布, 表示 l_k 的权重值, 反映了 l_k 与其他候选匹配之间的匹配度。

在图像匹配中, 矩阵 $W = [w_{nm}]_{N \times N}$ 是建立在欧氏距离基础上的相邻特征的一种空间关系矩阵^[9], 反映了候选点 $l_n = (x_n, x'_n)$ 和 $l_m = (x_m, x'_m)$ 之间的几何仿射关系。在作者的前期工作中, 为了提高算法的准确率, 采用一种双随机矩阵法对矩阵 W 进行均衡化处理, 再应用其求得概率模型中的 π_n^k 。这种方法获得了较高的准确率和鲁棒性, 尤其是在产生较大几何畸变的情况下, 仍能保持良好的匹配准确度^[11]。

采用具有约束限制的时序方法^[10], 从估计的似然值中选出最优匹配集 L^{opt} , 设 $l_n^* \in L^{opt}$ 表示正确的匹配, 则

$$l_n^* = \arg \max_{l_n \in L} \theta_n \quad (2)$$

最优匹配集合中包含了前一帧指定目标与后一帧待匹配目标之间的精确匹配对。

目标定位建立在上述匹配结果的基础上, 通过前后帧目标匹配点对在各自图像中的坐标, 并根据前一帧得到的目标矩形框 (ROI) 得到后一帧的目标定位结果, 从而完成目标的定位跟踪。目标的定位跟踪结果为

$$ROI_t = \text{get}(I_t [C_{-r}(m) C_{-c}(m) l_{t-1} w_{t-1}]) \quad (3)$$

式中, ROI_t 表示获得的当前帧的 ROI, I_t 表示当前帧的图像, 函数 $\text{get}(I [a b l w])$ 表示在图像 I 中获得一个起点坐标为 (a, b) , 长为 l 宽为 w 的矩形框, $C_{-r}(m)$ 表示所获得的所有最优匹配点中的最小横坐标值, $C_{-c}(m)$ 表示所获得的所有最优匹配点中的最小纵坐标值, l_{t-1} 为上一帧图像获得的 ROI 的长, w_{t-1} 为上一帧图像获得的 ROI 的宽。用式 (3) 获得的目标矩形框是在假设获得的匹配结果较为准确并且分布较为均匀的基础上, 否则矩形框将不能

包括完整的跟踪目标或使目标的位置偏离矩形框的中心位置较远,从而影响实验结果。因此,匹配结果对本文实验的影响较大,需要进行准确的目标匹配才能完成细胞形态的准确跟踪。

3 基于均衡化特征匹配的目标轮廓跟踪

为了完成非刚性形体跟踪,在利用基于均衡化概率模型的特征匹配方法确定了目标的具体位置之后,需要提取非刚性形体的轮廓特征,即进行图像分割,最终完成目标形体的跟踪过程。目前,形体跟踪的主要方法包括粒子滤波方法、Snake 方法、光流法、可变形模板方法等。其中,可变形模板是纹理或边缘可以按一定限制条件变形的面板或曲线,文献[13]中目标模板是一条手工绘制的封闭曲线,它可以通过灰度图像的势场函数逐渐与图中的真实目标相适应,从而跟踪复杂背景中的目标,但是,这种方法过于依赖目标的先验知识,当目标有轻微扭动时,轮廓就会不准确。而对于 Snake 算法,虽然在目标轮廓跟踪中取得了较好的效果,且计算量较小,但是由于用户无法估计 Snake 算法中迭代的最后结果,而且在算法过程中往往要进行多次交互工作,特别当目标比较复杂时,或与其他物体靠得较近时,初始的轮廓不易确定,而迭代的结果往往不能达到要求。对于本文实验中所用的视频,由于目标扭动比较大,而且与周围物体过于接近,上述两种方法都不能达到很好的效果。

Growcut^[14]是一种交互式的图像分割算法,由用户标定一定数量的像素点作为目标,然后利用所谓的“细胞自动机(cellular automation)”对图像进行迭代式的自动分割。当分割的图像过于复杂时,Growcut 方法须进行一定的人工干预。而对于一种图像分割算法而言,评价算法的关键点之一就是自动化程度的高低,也就是人工干预的多少。Growcut 算法虽然在分割效果以及分割速度方面得到了较好的结果,但是在对每一幅图像进行分割时都需要进行一定的人工干预,采取手工标定的方法标记出目标,这样就使算法的自动化程度大大降低了。尤其在本文实验中要进行视频的跟踪,如果对每一帧图像都进行人工标定目标,则将使整个算法的自动化程度和速度都大幅度下降。

基于上述原因,将 Growcut 与均衡化特征匹配

结果相结合,提出一种基于特征匹配的 Growcut 自动标识算法。在跟踪初始阶段,以第一帧图像作为参考图像,仅对其目标进行人工标定。在后续的跟踪过程中,利用上一帧跟踪得到的目标位置,特征匹配得到的匹配点以及图像的灰度与梯度信息来进行其他帧图像中目标的自动标定,省去了人工标定的复杂过程,充分提高了跟踪算法的速度与自动化程度。

利用本文方法进行目标自动标识的 Growcut 方法的伪代码如下:

```

//对当前帧图像的每一个节点 p
1) for  $\forall p \in P$ 
//将背景标记为 -1
2) if  $\theta_p > \text{threshold}_1$ 
3)  $l_p = -1$ ;
4) end if
5) end for
6) for  $\forall p \in P$ 
//将目标标记为 1
7) if  $\theta_p < \text{threshold}_2$  &  $G_p < \text{threshold}_3$ 
8)  $l_p = 1$ ;
9) end if
10) end for
//对每一个得到的待跟踪图像中的匹配对
11) for  $\forall p \in C(p)$ 
//将匹配点置为 1 或 -1,即目标或背景
12) if  $S_p \in P_{\text{last}}$ 
//判断匹配点是否属于上一帧图像的目标
13)  $l_p = 1$ ;
14) else  $l_p = -1$ ;
15) end if
16) end for
17) for  $\forall p \in P$ 
//重复上面的步骤
18)  $l_p^{+1} = l_p$ ;
19)  $\theta_p^{+1} = \theta_p$ ;
//对于相邻的节点 q
20) for  $\forall q \in N(p)$ 
21) if  $g(\|C_p - C_q\|_2) \cdot \theta_q^t > \theta_p^t$ 
22)  $l_p^{+1} = l_q$ ;
23)  $\theta_p^{+1} = g(\|C_p - C_q\|_2) \cdot \theta_q^t$ ;
24) end if
25) end for
26) end for

```

其中, l_p 代表节点 p 的标签值, θ_p 代表节点 p 的强度值, G_p 代表节点 p 的梯度值, S_p 代表由本文的概率

模型匹配算法得到的匹配点坐标, P_{last} 代表上一帧图像跟踪得到的目标点坐标, $threshold_1$ (本文实验取值 155)、 $threshold_2$ (本文实验取值 125)、 $threshold_3$ (本文实验取值 0.2) 分别为人工设定的阈值, t 代表步骤数。 $\theta_p \in [0, 1], \forall p \in P$, 有 $l_p = 0, \theta_p = 0, C_p = RGB_p$ 。 g 为一个映射函数

$$g(x) = 1 - \frac{x}{\max \|C_p\|_2} \quad (4)$$

4 实验过程与结果分析

为了验证提出的跟踪算法的有效性, 针对显微环境下运动细胞进行了跟踪^[15]。在待跟踪视频中, 目标与背景在某些时刻相似度较高, 并且目标的形状、位置发生急剧变化, 这对跟踪算法都是比较大的挑战。实验中将本文算法与 MeanShift + Growcut 方法作比较 (Growcut 仅利用简单的图像灰度以及梯度信息进行目标自动标识), 可以发现本文算法在目标的形状、位置发生急剧变化情况下仍然可以保持良好的算法性能, 有效地完成非刚体目标的形体轮廓跟踪, 并且具有较高的实时性, 减少了手工标定目标的工作, 增强了自动化程度。

实验所使用的显微镜下细胞运动的视频共 22 帧, 且第 1 帧图像中包含被跟踪目标。由于本文算法研究的重点是运动背景下细胞形态的跟踪, 因此算法在视频序列的第 1 帧直接用人工标定的方法画出包含跟踪目标在内的矩形框, 省略了目标检测的过程, 但在某些实际场景中, 视频的第一帧或是图像序列的先前帧可能并不包含所要跟踪的目标, 这样就需要完成目标检测的过程。此时, 可以采用一种基于相位和差分相乘的运动目标检测方法^[16], 利用图像的幅值谱和互功率谱的信息, 先用相位相关算法配准, 再用差分相乘方法完成运动目标的检测, 这样就可以得到视频序列中的运动目标, 再利用本文算法进行目标的跟踪。

首先, 为了完成目标的精确定位, 本文算法使用了基于均衡化概率模型的特征匹配算法, 与 SIFT 算法相比, 它可以去除一定量的错配, 达到更高的准确性。图 2 给出了利用 SIFT 算法和本文使用的基于均衡化概率模型的特征匹配算法对视频序列的第 5 帧以及第 6 帧图像进行特征匹配的结果, 其中第 5 帧图像直接使用通过目标定位所得到的矩形框, 这样可以减少除目标以外其他物体间形成的匹配对数, 以减少计算量, 提高效率。在跟踪过程中, 算法以前一帧跟踪到的矩形框

作为目标, 提取矩形框内的特征点, 并与下一帧的图像进行特征匹配。在图 2 的两幅子图中, 左图为第 5 帧跟踪到的矩形框, 右图为第 6 帧图像。其中, 蓝色直线表示正确匹配, 红色直线表示错误匹配。可以看出, 基于均衡化概率模型的特征匹配算法得到的结果更准确, 从而为准确的目标定位奠定了基础。

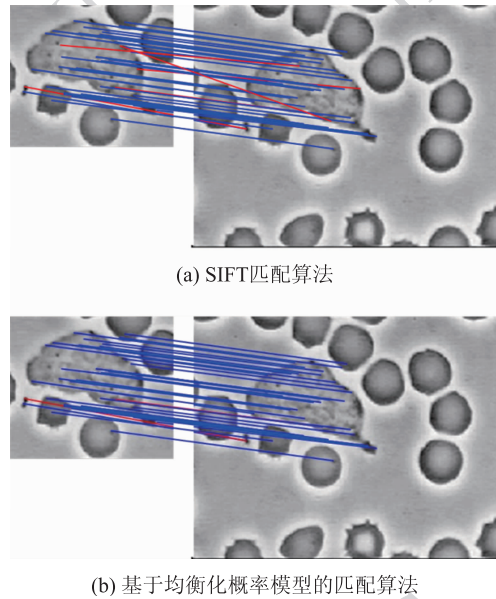


图 2 本文算法与 SIFT 算法的特征匹配结果对比

Fig. 2 Comparison of feature matching algorithms based on balanced probabilistic model and SIFT matching

图 3 给出了定位跟踪过程中, 利用本文算法与利用 MeanShift 得到的不同结果, 由图 3(a) 中的第 12 帧图像与图 3(b) 中的第 13 帧图像对比可以看出, 当目标的移动速度加快时, MeanShift 算法得到的跟踪结果并不理想, 而本文算法却能保持良好的效果, 为准确地进行轮廓跟踪奠定了良好的基础。

如果将视频中的目标看作是一个近似于矩形的几何体, 则可以通过几何方法计算出目标的几何中心, 而两种算法中, 初步跟踪所得到的矩形框也可以计算出相应的几何中心。把这两个几何中心之间的欧氏距离记做跟踪结果的误差值, 用字母 $\Delta\gamma$ 表示, 图 4 显示了从视频的第 2 帧开始的 10 帧图像中, 本文算法与 MeanShift 算法的跟踪误差值, 可以看出, 本文算法在跟踪的准确性方面优于 MeanShift 算法, 并且本文算法在跟踪目标过程中的定位比较准确, 目标基本位于矩形框的中央位置。

图 5 显示了当目标的形状、位置发生急剧变化时两种算法在目标形体轮廓跟踪上的结果对比。在

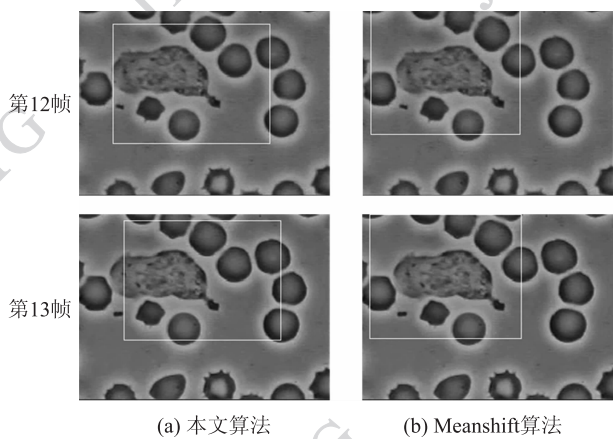


图 3 本文算法与 Meanshift 算法的结果对比
 Fig. 3 Localization performance comparison between the proposed method and MeanShift

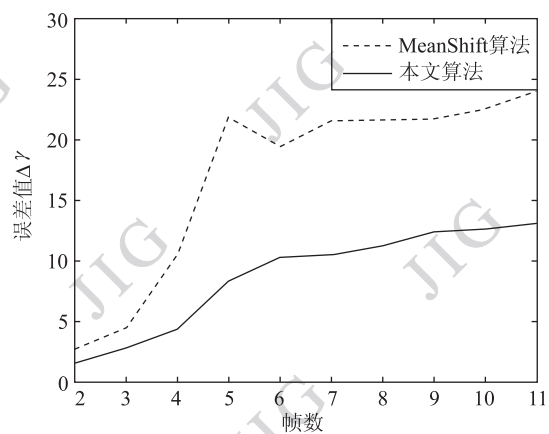


图 4 本文算法与 MeanShift 算法跟踪误差对比
 Fig. 4 Position tracking error comparison between the proposed method and MeanShift

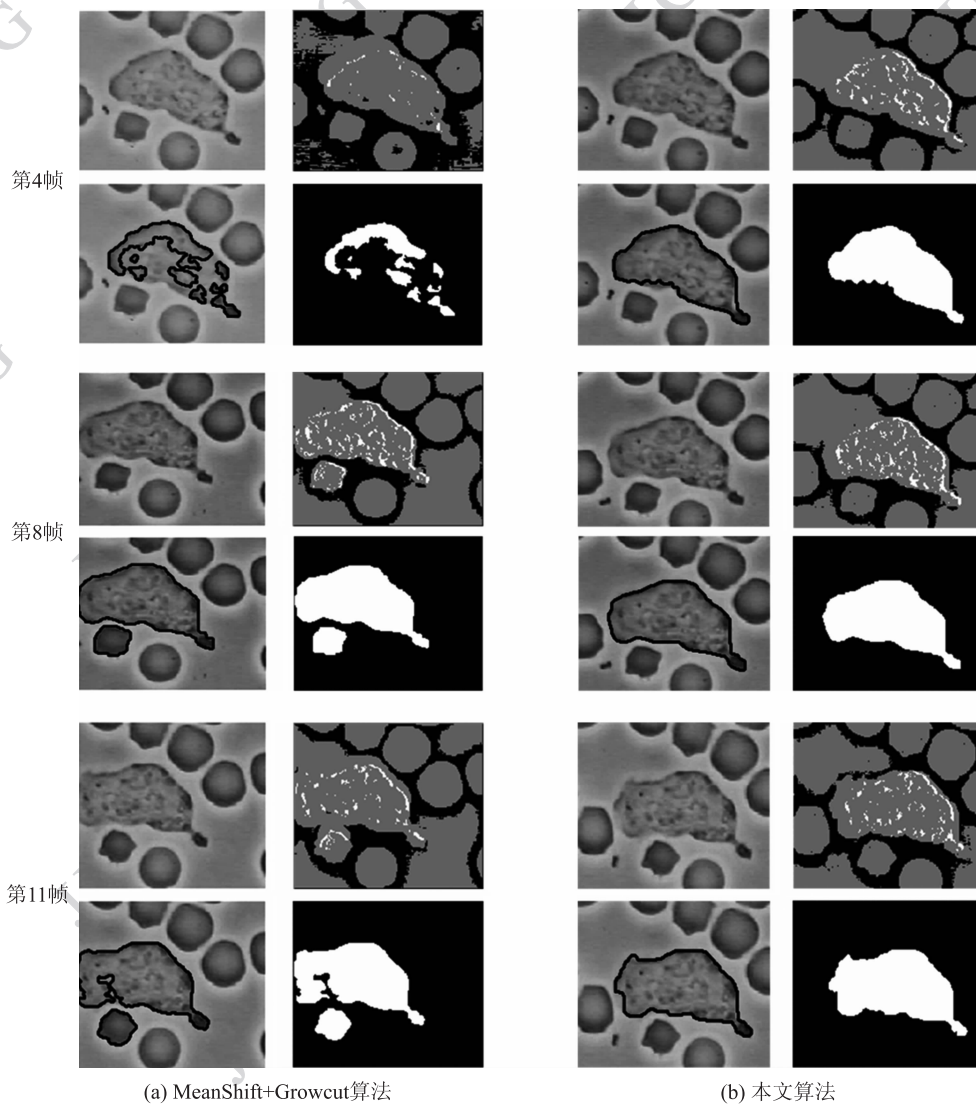


图 5 本文算法与 MeanShift + Growcut 算法的轮廓跟踪结果对比
 Fig. 5 Object contour tracking comparison between the proposed method and MeanShift + Growcut

左侧图中,目标的定位部分使用 MeanShift 算法,轮廓跟踪则使用仅利用简单的图像灰度以及梯度信息进行目标自动标识的 Growcut 方法;右侧图中,目标的定位部分使用本文的基于均衡化概率模型算法,在轮廓提取部分,使用利用特征点自动标识的 Growcut 方法。在图 5 中,每一帧的跟踪结果由 4 幅图组成,从左至右、从上至下分别表示跟踪到目标的 ROI(即目标的初步定位)、Growcut 算法进行的自动标定目标标签(其中灰色区域为未知区域,白色部分为目标标定,黑色部分为背景标定)、得到的目标轮廓(黑色线为 Growcut 算法跟踪到的目标轮廓)以及跟踪到的目标矩阵显示(白色部分为目标,黑色部分为背景)。从图 5 中可以看出,本文算法中由于增加了准确的特征对应过程,降低了目标跟踪过程中的定位误差,也大大增加了非刚性目标的形状提取精度。

相对于 MeanShift + Growcut 方法,本文所提出的基于均衡化概率模型的细胞形态跟踪算法具有诸多更优良的性能,但同时也存在一定的缺陷。标准的 MeanShift 目标跟踪算法,操作简单,易于实现,而具有良好的实时性,而本文算法由于对视频序列的每一帧都要进行匹配、分割以及目标的定位过程,所以完成一次跟踪所需的时间更多,实时性较差。表 1 是本文实验使用本文算法与 MeanShift + Growcut 算法完成每一帧图像的目标跟踪所需时间(第 1 帧采用人工标定完成)的对比,由表可知,本文算法的实时性有待提高,在以后的研究中,应着重于提高新算法的实时性。但在实际应用中,对于一些要求精度较高的项目,损失的时间代价与定位精度相比可以忽略。

5 结 论

目标跟踪是计算机视觉领域一个重要的课题,尤其是在动态背景以及目标与背景相似度较高的情况下,准确地目标跟踪更具有挑战性。本文利用一种改进的基于概率模型的图匹配算法进行位置跟踪,并利用得到的匹配点以及简单的灰度以及梯度信息进行自动目标标定,结合 Growcut 算法完成图像分割,以得到精确的目标轮廓跟踪。实验结果表明,本文跟踪算法可以有效地完成动态背景下的非刚性细胞形体的精确跟踪,具有实用价值,但还需着重于算法实时性的提高。

表 1 本文算法实时性记录

Table 1 Real-time records of the proposed method

视频帧数	用时/s		视频帧数	用时/s	
	本文算法	MeanShift + Growcut 算法		本文算法	MeanShift + Growcut 算法
2	9.425	9.287	13	19.235	12.564
3	9.984	9.547	14	14.078	10.254
4	11.641	10.844	15	9.891	10.198
5	15.094	11.687	16	9.594	9.458
6	10.500	9.129	17	9.922	10.264
7	12.953	12.297	18	10.359	10.158
8	13.359	12.156	19	22.484	13.945
9	13.391	10.532	20	49.109	14.268
10	11.859	10.531	21	71.641	13.254
11	18.500	12.00	22	62.859	12.417
12	16.281	11.259			

参考文献 (References)

- [1] Zhou H Y, Yuan Y, Shi C M. Object tracking using SIFT features and Mean Shift [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2009, 113(3):345-352.
- [2] Li S X, Chang H X, Zhu C F. Adaptive pyramid Mean Shift for Global real-time visual tracking [J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(3):424-437.
- [3] Lu X, Lei H, Hao Z B. Automatic CamShift tracking algorithm based on multi-feature [J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(3):650-652. [卢璇, 雷航, 郝宗波. 联合多特征的自动 CamShift 跟踪算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(3):650-652.]
- [4] Du C H, Yang J, Wu Q, et al. Locating facial landmarks by support vector machine-based active shape model [J]. International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, 2011, 10(2):151-170.
- [5] Zhang K H, Zhang L, Song H H, et al. Active contours with selective local or global segmentation; a new formulation and level set method [J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(4):668-676.
- [6] Fresno M, Venere M, Clausse A. A combined region growing and deformable model method for extraction of closed surfaces in 3D CT and MRI scans [J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2009, 3(5):369-376.
- [7] Zhang R G, Liu X J, Liu K, et al. B-spline active contours boundary extraction based on conjugate gradient vector [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(1):103-108.

- [张荣国,刘小君,刘焜,等. 基于共轭梯度的B样条主动轮廓提取[J]. 中国图象图形学报,2010,15(1):103-108.]
- [8] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2):91-110.
- [9] Kim T H, Lee K M, Lee S U. A probabilistic model for correspondence problems using Random Walks With Restart [C]//Proceedings of Xi'an:Proc of the 9th Asian Conference on Computer Vision. Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009:416-425.
- [10] Leordeanu M. Spectral matching, learning, and inference for computer vision[D]. USA: Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2009.
- [11] Chen Y, Ai C L. Feature matching based on balanced probabilistic model and its application [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2010,38(2):78-83. [陈莹,艾春璐. 基于均衡化概率模型的特征匹配及其应用[J]. 光电工程,2010,38(2):78-83.]
- [12] Mikolajczyk K, Schmid C. Scale & Affine invariant interest point detectors [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(1):63-86.
- [13] Zhong Y, Jain A K, Dubuisson-Jolly M P. Object tracking using deformable templates[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,2000, 22(5):544-549.
- [14] Vezhnevets V, Konouchine V. "Growcut"-Interactive multi-label N-D image segmentation by cellular automata[EB/OL]. [2011-11-09]. <http://www.shawnlankton.com/2008/03/growcut-segmentation-in-matlab/>.
- [15] Sacan A, Ferhatosmanoglu H, Coskun H. CellTrack: an open-source software for cell tracking and motility analysis [J]. *Bioinformatics*, 2008,24(14):1647-1649.
- [16] Zhou X C, Tu D W, Chen Y, et al. Moving object detection under dynamic background based on phase-correlation and differential multiplication [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(5):980-983. [周许超,屠大维,陈勇,等. 基于相位相关和差分相乘的动态背景下运动目标检测[J]. 仪器仪表学报,2010,31(5):980-983.]