



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
09
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



城市交通规划 P1197



第18卷第9期（总第209期）

2013年9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

综述

高分辨率遥感影像空间结构特征建模方法综述

秦昆, 陈一祥, 甘顺子, 冯霞, 任文力

1055

简缩极化SAR数据信息提取与应用

张红, 谢镭, 王超, 张波, 吴樊, 汤益先

1065

图像处理和编码

融合CCCTI码和谱系聚类的仿射配准

张桂梅, 江少波, 刘丕玉, 张松

1074

面向虚拟视点绘制的深度图滤波及上采样方法

高凯, 陈贺新, 赵岩, 耿英楠, 王钢

1085

图像分析和识别

包空间多示例图像自动分类

王科平, 杨艺, 王新良

1093

表情和姿态的双模态情感识别

闫静杰, 郑文明, 辛明海, 邱伟

1101

等级关联的粒子群迭代多目标检测跟踪

程旭, 李拟珺, 张索非, 吴镇扬

1107

改进后的TLD视频目标跟踪方法

周鑫, 钱秋朦, 叶永强, 王从庆

1115

多特征稳健主成分分析的视频运动目标分割

甘超, 王莹, 王向阳

1124

融合全局最好和声搜索算法的模糊C均值聚类图像分割

崔兆华, 高立群, 欧阳海滨, 李文娜

1133

从运动中恢复目标结构的改进因子分解法

邱少华, 文贡坚, 回丙伟, 张鹏

1142

计算机图形学

并行扫描转换结构中的状态管理

殷诚信, 韩俊刚, 黄虎才

1149

医学图像处理

3维颅骨表面模型的复杂孔洞修补

包佳蕊, 梁荣华, 吴福理, 黄鲜萍, 蒋莉, 陈矛

1156

归一化Radon变换和统计测度的超声图像肌束方向自动跟踪

李乔亮, 李振宇, 张会生, 张小飞, 陈昕, 陈思平, 汪天富

1164

遥感图像处理

改进的多光谱双边滤波图像融合

吴川, 杨冬

1170

长度归一化扫描的合成孔径雷达图像船舶尾迹恒虚警率检测

南杰, 张红, 王超, 吴樊, 张波

1176

地理信息技术

3D可视化输电线路中杆塔空间挂点计算

何国辉, 周聪

1184

地图符号服务与地图服务的耦合

焦东来, 张海涛, 闫国年, 姜杰

1190

不同表达粒度对城市路网结构健壮性评价的影响

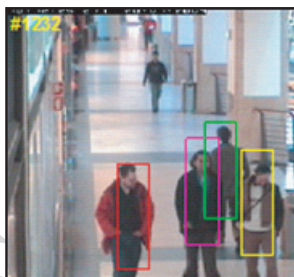
段滢滢, 陆锋

1197

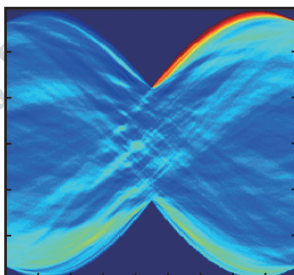
DEM保真精度量化描述模型

张锦明, 游雄

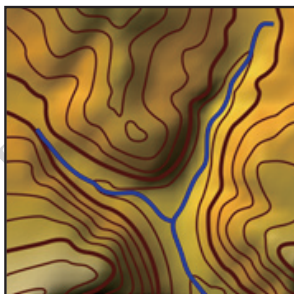
1206



等级关联的粒子群迭代多目标检测跟踪(第1107页)



归一化Radon变换和统计测度的超声图像肌束方向自动跟踪(第1164页)



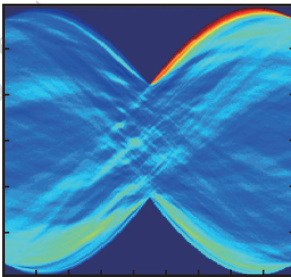
DEM保真精度量化描述模型(第1206页)

CONTENTS

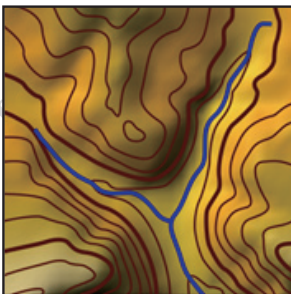
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Hierarchical associative multi-target detection and tracking with particle swarm optimization(P1107)



Automatic tracking of muscle fascicle orientation in ultrasound images: a approach based on a normalized Radon transform and statistical measure (P1164)



Quantitative descriptive model of DEM fidelity accuracy(P1206)

Review

Review on methods of spatial structural feature modeling of high resolution remote sensing images

Qin Kun, Chen Yixiang, Gan Shunzi, Feng Xia, Ren Wenli 1055

Information extraction and application of compact polarimetric SAR data

Zhang Hong, Xie Lei, Wang Chao, Zhang Bo, Wu Fan, Tang Yixian 1065

Image Processing and Coding

Affine registration based on CCCTI and hierarchical clustering

Zhang Guimei, Jiang Shaobo, Liu Piyu, Zhang Song 1074

Depth map filtering and upsampling method for virtual view rendering

Gao Kai, Chen Hexin, Zhao Yan, Geng Yingnan, Wang Gang 1085

Image Analysis and Recognition

Automatic classification of multiple-instance image based on the bag space

Wang Keping, Yang Yi, Wang Xinliang 1093

Bimodal emotion recognition based on body gesture and facial expression

Yan Jingjie, Zheng Wenming, Xin Minghai, Qiu Wei 1101

Hierarchical associative multi-target detection and tracking with particle swarm optimization

Cheng Xu, Li Nijun, Zhang Suofei, Wu Zhenyang 1107

Improved TLD visual target tracking algorithm

Zhou Xin, Qian Qiumeng, Ye Yongqiang, Wang Congqing 1115

Multi-feature robust principal component analysis for video moving object segmentation

Gan Chao, Wang Ying, Wang Xiangyang 1124

Improved fuzzy C-means clustering combined with the global best harmony search algorithm for image segmentation

Cui Zhaozhu, Gao Liqun, Ouyang Haibin, Li Wenna 1133

Improved factorization method for structure from motion

Qiu Shaohua, Wen Gongjian, Hui Bingwei, Zhang Peng 1142

Computer Graphics

Efficient state management for parallel rasterization

Yin Chengxin, Han Jungang, Huang Hucai 1149

Medical Image Processing

Various hole repairing algorithm for 3D mesh surface models of human skull

Bao Jiarui, Liang Ronghua, Wu Fuli, Huang Xianping, Jiang Li, Chen Mao 1156

Automatic tracking of muscle fascicle orientation in ultrasound images: a approach based on a normalized Radon transform and statistical measure

Li Qiaoliang, Li Zhenyu, Zhang Huisheng, Zhang Xiaofei, Chen Xin, Chen Siping, Wang Tianfu 1164

Remote Sensing Image Processing

Improved multispectral bilateral filter video fusion algorithm

Wu Chuan, Yang Dong 1170

Ship wake constant false alarm rate detection algorithm in synthetic aperture radar images based on length normalized scanning

Nan Jie, Zhang Hong, Wang Chao, Wu Fan, Zhang Bo 1176

Geoinformatics

Tower hanging point calculation for transmission line on three-dimensional visualization

He Guohui, Zhou Cong 1184

Coupling of map symbol web service and web map service

Jiao Donglai, Zhang Haitao, Lv Guonian, Jiang Jie 1190

The impact of different granularity representations on robustness evaluation of city road network

Duan Yingying, Lu Feng 1197

Quantitative descriptive model of DEM fidelity accuracy

Zhang Jinming, You Xiong 1206

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)09-1107-08

论文引用格式: 程旭, 李拟珺, 张索非, 吴镇扬. 等级关联的粒子群迭代多目标检测跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(9): 1107-1114.
 [DOI:10.11834/jig.20130907]

等级关联的粒子群迭代多目标检测跟踪

程旭, 李拟珺, 张索非, 吴镇扬

东南大学信息科学与工程学院, 南京 210096

摘要: 针对目标在跟踪过程中受环境变化影响(光照、遮挡等)使其跟踪发生偏移的问题, 提出一种从目标粗匹配到粒子群算法精确定位的等级关联结构的多目标跟踪算法。与现有跟踪算法相比, 在粗匹配阶段粒子随机产生过程中融入了上下文信息, 提高了目标匹配的准确度, 降低了错误跟踪的目标数; 对于在粒子群精确定位阶段有显著偏差的目标位置, 采用 Metropolis-Hastings 采样算法进行纠正, 同时完成模板更新, 从而保证了目标跟踪的准确性。实验结果表明, 该算法在目标被遮挡的情形下能够准确地跟踪被遮挡的目标。

关键词: 视觉跟踪; 模板匹配; 目标检测; 多目标跟踪; 粒子群算法

Hierarchical associative multi-target detection and tracking with particle swarm optimization

Cheng Xu, Li Nijun, Zhang Suofei, Wu Zhenyang

School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: To cope with the drift problem of tracking caused by environmental changes (such as illumination variations and occlusions), we propose a multi-target tracking algorithm with a hierarchical associative structure, which first coarsely matches the targets and then accurately locates them using Particle Swarm Optimization (PSO). Compared with the state-of-the-art tracking algorithms, context information is integrated into the generation of the particles during the coarse matching stage in this paper, thus enhancing the accuracy of target matching as well as reducing the number of false-tracked targets. To ensure the tracking accuracy, the targets' locations with prominent deviations in the phase of accurate tracking are rectified via Metropolis-Hastings algorithm; meanwhile, the targets' templates are updated. Experimental results show that the proposed algorithm can track the occluded targets more accurately under the occlusions.

Key words: visual tracking; template matching; object detection; multi-target tracking; particle swarm optimization

0 引言

近年来, 多目标跟踪在视频监控方面得到了广泛关注。虽然提出了一些多目标检测跟踪算法, 但是仍然有一些重要的问题需要解决, 如: 因遮挡造成错误跟踪的目标, 环境变化使目标的匹

配不精确等。因此, 如何在复杂的现实环境中鲁棒地估计不同目标的状态并且及时更新目标的模板变得至关重要。

根据目前的研究, 多目标跟踪算法大致分为两类: 一类是利用在线学习方法实现目标跟踪^[1-8], 这类方法不需要将所有的训练数据保存起来, 而是利用到达的每一帧进行学习并更新分类器, 它们大都

收稿日期: 2012-12-17; 修回日期: 2013-01-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(60971098, 60672094)

第一作者简介: 程旭(1983—), 男, 现为东南大学信息与通信工程专业博士研究生, 主要研究方向为视频图像目标检测与跟踪。E-mail: xcheng@seu.edu.cn

是在检测跟踪的框架下进行的。所谓检测跟踪方法是利用离线学习的检测器检测目标,然后,使用数据关联的方法把跟踪的轨迹与检测的结果相对应^[7-11]。Okuma 等人^[1]利用离线的 boost 检测器修正粒子滤波算法的建议性分布,在混合分布密度下完成对粒子的采样。Lu 等人^[2]进一步在文献[1]的基础上融入了模板更新和行为识别,提高了跟踪的准确性。文献[3]提出在线跟踪的方法处理交互的目标,目标没有遮挡时,每个目标训练一个分类器,遮挡发生时,分类器训练结束,并用训练的结果处理遮挡的目标。多示例学习算法^[4]改善了表观(appearance)变化时目标跟踪的效果,但是该算法在目标发生长时间的全遮挡时却束手无策。文献[5]将3个跟踪器(基于归一化交叉相关的模板匹配、光流均值漂移和在线随机森林)智能结合来预测目标位置。另外,SVM(支持向量机)^[6]、Boosting 分类器^[7-8]等技术都成功地采用了基于检测跟踪的思路。虽然分类器在跟踪系统中能够精确的定位,在线自适应目标表观的变化,但是需要训练大量的数据才能使分类器可靠地工作,并且当目标在遮挡期间表观发生很大变化或者有新的目标出现时,跟踪的目标可能会丢失^[8]。另一类方法是基于全局最优轨迹的方法^[9-10],其基本思想是先把整个视频所有帧的目标检测出来,然后利用最优化的思想求全局最优轨迹。然而,这类方法不适用于实时跟踪。

最近,已有一些文献提出了在没有足够数据用于训练分类器和学习场景模型条件下的跟踪算法^[11]。针对在线学习跟踪算法的局限和实时跟踪的需要,本文提出一种在没有大量数据用于分类器训练情况下的实时跟踪算法,整个算法在检测跟踪的框架下进行。在相邻帧的目标匹配阶段,提出了目标从粗略匹配到精确定位的等级关联结构。粗匹配粒子产生阶段,融入了上下文信息,使产生的每个粒子都携带有目标的标号信息;粒子群精确定位阶段,通过采用 Metropolis-Hastings 采样算法对有偏差的目标位置进行纠正并完成相应目标的模板更新。虽然,张笑钦提出采用粒子群算法跟踪多个目标^[12],但是该方法只能跟踪固定的目标数目,并且需要预先知道目标的先验知识,很难应用于目标变化场景的跟踪。仿真结果表明,本文算法 HAPSO(hierarchical associative particle swarm optimization)提高了匹配的准确度,降低了错误跟踪目标的数量。

1 跟踪模型与问题描述

1.1 粒子群算法

粒子群算法(PSO)是基于生物群体建模的方法^[13],采用这个模型用于估计跟踪目标的最优状态。在多目标跟踪的过程中,给每个目标分配 m 个粒子,这 m 个粒子组成一个群体并在 D 维搜索空间中以一定的速度飞行,在每个粒子搜索时,考虑到了自己搜索到的历史最好点和群体内其他粒子的历史最好点,在此基础上进行目标状态的迭代更新。粒子的速度和位置为

$$v^{i,n+1} = \omega^n v^{i,n} + c_1 u_1 (p^i - x^{i,n}) + c_2 u_2 (g - x^{i,n}) \quad (1)$$

$$x^{i,n+1} = x^{i,n} + v^{i,n+1} \quad (2)$$

初始化随机产生的 m 个粒子 $\{x^{i,0}\}_{i=1,\dots,m}$, 和其相应速度 $v^{i,0}$, p^i 表示每个粒子的最好状态,而 g 代表所有粒子的最好状态。 ω^n 称为惯性权重,其大小决定了对粒子当前速度继承了多少, c_1 、 c_2 为学习因子,它使粒子在自我总结的基础上向群体内的历史最优位置靠近。 u_1 、 u_2 是在 $[0,1]$ 区间内均匀分布的伪随机数。 n 为粒子的迭代数。每个粒子每次迭代后,粒子的个别和全局最好状态为

$$p^i = \begin{cases} x^{i,n+1} & f(x^{i,n+1}) > f(p^i) \\ p^i & f(x^{i,n+1}) < f(p^i) \end{cases} \quad (3)$$

$$g = \arg \max_{p^i} f(p^i) \quad (4)$$

式中, $f(\cdot)$ 为适应值函数,它用来评估粒子的好坏。取这 m 个粒子中最优的适应值 g 作为这个目标的最终状态。在多目标跟踪中,每个粒子对应着一个适应值 $f(x^{i,n})$ 。

1.2 问题的描述

多目标跟踪问题实际上就是当前帧的所有目标与前一帧的目标精确匹配,得到各个目标的状态。

$\chi = \{x_{t,k}^{i,n}, i=1,2,\dots,N, k=1,2,\dots,M\}$, $\mathcal{O} = \{o_{t,k}^{i,n}, i=1,\dots,N, k=1,\dots,M\}$ 分别代表目标的状态和观测值。式中, t, k, i, n 分别表示第 t 帧的第 k 个目标,第 i 个粒子的第 n 次迭代。 N 是粒子的数目, M 是目标的数目。因此,多目标跟踪问题可表达为

$$\chi^* = \arg \max_{\chi} P(\mathcal{O}|\chi) \quad (5)$$

式(5)表示似然概率密度函数 P 最大时所对应的状态是最优的。由于目标之间是相互独立的,所以,每个目标又可以表达为

$$x_{t,k}^* = \arg \max_{x_{t,k}} p(o_{t,k} | x_{t,k}), k=1,\dots,M \quad (6)$$

表示每个目标的似然函数包含了颜色和运动两个线索, 这两个线索是相互独立的, 所以, 颜色和运动线索的联合似然函数又可表达成两个线索的乘积, 即

$$p(o_{t,k} | x_{t,k}) = p(o_{t,k}^m, o_{t,k}^c | x_{t,k}) = p(o_{t,k}^m | x_{t,k}) p(o_{t,k}^c | x_{t,k}) = \exp \{ -\sqrt{\lambda_1 d_1^2 + \lambda_2 d_2^2} \} \quad (7)$$

式中, λ_1 、 λ_2 分别代表运动线索和颜色线索的权重, d_1 表示目标随机产生的每个粒子到检测器检测目标中心的欧氏距离, 作为运动线索; d_2 是 Bhattacharyya 距离, 作为颜色线索。当两个目标之间的距离 d 很近时 (即目标之间发生遮挡或即将发生遮挡), 运动线索的权重 λ_1 变大, 系统自适应降低颜色线索的权重 λ_2 。自适应权重的关系为

$$\lambda_1 = \begin{cases} 0.1 & d(x, y) \geq T \\ \exp \{ -d(x, y) \} & 0 \leq d(x, y) < T \end{cases} \quad (8)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1 \quad (9)$$

式中, T 是阈值, 文中取值为 12。式 (7) 表明当 d_1 和 d_2 都小时, 目标得到的状态是最优的。

2 算法描述

2.1 算法流程图

本文 HAPSO 多目标跟踪算法的流程如图 1 所示。下面将详细讨论算法中的细节。

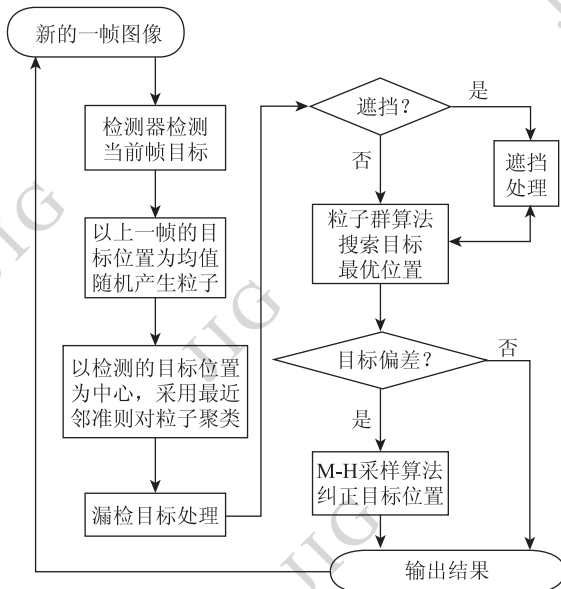


图 1 HAPSO 多目标跟踪算法流程图

Fig. 1 Flow chart of the HAPSO multi-target tracking algorithm

2.2 等级关联结构

这部分是算法的核心。当新的一帧到达后, HAPSO 采取由粗到细两个等级阶段完成目标数据的关联。在第 1 阶段, 主要完成当前帧检测器检测的目标与随机产生的粒子之间的关联, 从而确定了检测的结果与前一帧中哪个目标相关联; 进一步, 在第 2 个阶段, 采用粒子群优化算法找到每个目标的最优状态。然而, 由于目标的表现是时刻变化的, 粒子群迭代得到的最优状态可能与目标的实际位置之间存在一定的偏差, HAPSO 通过 Metropolis-Hastings 采样矫正目标的最优状态, 最后利用矫正的目标状态完成表现模型的更新。

2.2.1 粗匹配阶段

当新的一帧图像到来时, HAPSO 算法采用 Rosten 等人提出的 FAST (features from accelerated segment test) 检测方法在原始图像上对目标进行检测^[14]。FAST 检测器的原理如图 2 所示。

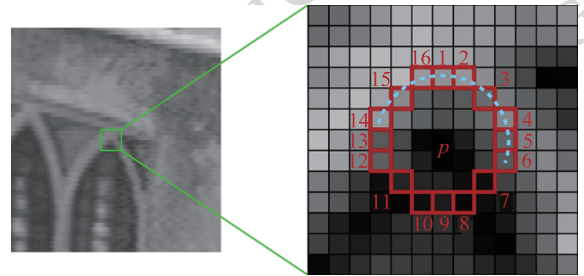


图 2 在一个 patch 上的角点检测^[14]

Fig. 2 The corner detection in an image patch^[14]

以像素 p 为圆心, 作半径为 3 的圆, 这个圆经过了 16 个像素。其原理是: 如果圆周经过的 16 个点至少有连续 12 个像素的亮度值都高于或都低于 p 点的像素值时, 就认为在 p 点检测出一个特征。另外文献^[14]提到用检测像素 1、9、5、13 的方法可以最优地检测到特征点。FAST 检测器的最大优点是检测速度快, 并且允许跟踪系统在线运行。

图 3 是 FAST 检测器对某一帧图像检测的结果。MATLAB 代码由作者主页提供 (<http://www.edwardrosten.com/work/fast.html>)。通过设置检测器最佳的经验检测阈值得到目标的检测点 (阈值为 100), 如图 3(a) 所示; 然后对这些特征点进行 k-means 聚类, 其中聚类点为每个目标矩形框的中心点, 图 3(b) 所示。然而, 由于检测器的原因, 在检测目标的过程中, 同时也检测出了背景 (即漏检测和误检测的目标), 这些干扰将在下一阶段的目

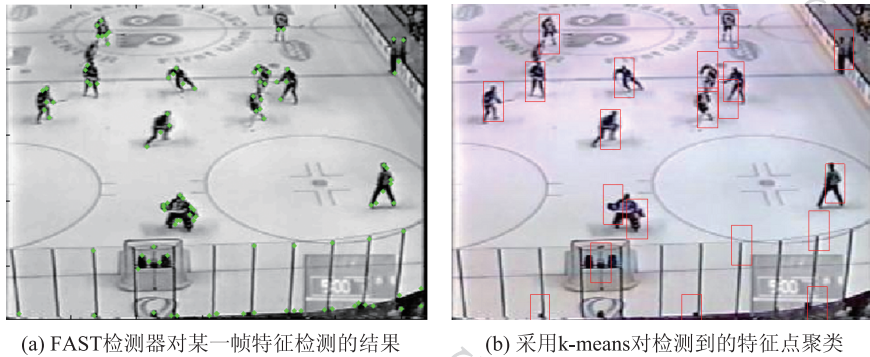


图3 FAST检测器的检测结果

Fig. 3 The results of feature detection using FAST detector

标关联过程中去除。每段视频需要在初始帧经验设置检测器的阈值,使检测器检测到更多的目标和更少的背景。

进一步,HAPSO 利用上下文目标的标号信息,以前一帧图像每个跟踪目标收敛后的最优粒子位置为均值随机产生粒子(采用每个目标随机产生 30 个粒子),即

$$x_{t,i}^{i,0} \sim N(p_{t-1}^i, v_t) \quad (10)$$

$$v_t \propto (g_{t-1} - g_{t-2}) \quad (11)$$

式中,方差 v_t 正比于前两帧最优位置差。因此,产生的每一个粒子携带了前一帧中目标的标号信息。同时,分别以检测器检测的目标位置为中心对这些随机产生的粒子点聚类,然后根据聚类的结果,同一聚类中粒子将所携带的标号信息传递给检测器检测到的目标位置,从而完成了检测器检测的目标位置与粒子的关联。与此同时,去除那些没有与粒子关联的检测框(即漏检测和误检测的目标)。

2.2.2 精确定位阶段

粗匹配阶段只是找到了相邻帧间的目标关联,而最终跟踪的目标位置还需要精确定位。引入了粒子群优化算法,通过粒子间的相互沟通与协作,实现精确的目标定位。在粒子群算法中,适应值函数的选取至关重要,这里,HAPSO 选择的适应值函数综合了颜色线索和运动线索,其定义如式(7)所示。

然而,跟踪目标的状态时刻变化,依靠检测的特征不一定能够得到好的结果^[11]。对于多目标而言,在粒子群算法精确定位阶段,粒子朝着最优的方向移动,但是最优的粒子状态可能与目标实际的中心位置存在一定的偏差,如果不及及时纠正这种偏差,它会随着跟踪帧数的增多而不断累积,最终导致跟踪的失败。因此,提出基于 Metropolis-Hastings 采

样^[15]的自适应方法纠正这种偏差。

对于在 t 时刻第 k 个目标,粒子群迭代最优状态 $x_{t,k}^* = (x_{t,k}^x, x_{t,k}^y)$ 位置与检测器对该目标检测的中心位置 $x_{t,k}^{\text{dec}} = (x_{t,k}^{\text{dec}x}, x_{t,k}^{\text{dec}y})$ 的欧氏距离作为判定跟踪目标是否需要纠正的准则。定义为

$$d_{t,k} = \sqrt{(x_{t,k}^x - x_{t,k}^{\text{dec}x})^2 + (x_{t,k}^y - x_{t,k}^{\text{dec}y})^2} \quad (12)$$

如果式(12)中的 $d_{t,k}$ 大于阈值 T_0 ,则需要纠正目标 k 的位置。

具体实现方法:假设 w 是随机产生的一个点, x^* 是某个目标 PSO 迭代的结果,建议性分布 $q(w|x^*)$,候选点分布 $p(w)$,这里,候选点 w 的建议性分布选取均匀分布,定义为

$$q(w|x^*) = U(x^* - \delta, x^* + \delta) \quad (13)$$

目标分布定义为

$$p(x^*) \propto \exp\{-d(x^*, x^{\text{dec}})\} \quad (14)$$

候选点 w 的分布定义为

$$p(w) \propto \exp\{-d(w, x^{\text{dec}})\} \quad (15)$$

$$\rho(x^*, w) = \min\left\{\frac{p(w)q(x^*|w)}{p(x^*)q(w|x^*)}, 1\right\} \quad (16)$$

$$q'_0 = \alpha q_0 + (1 - \alpha)q(w) \quad (17)$$

在实验中 δ 取 2,生成随机数 $u \in U(0, 1)$,若 $u \leq \rho(x^*, w)$,则把 w 作为目标的最终状态,否则保持 PSO 迭代状态不变。按式(17)更新此目标的模板, q_0 是上一次目标更新时的模板, $q(w)$ 表示由 Metropolis-Hastings 采样得到 w 的颜色直方图。 α 取值为 0.9。目标遮挡的过程中不更新模板。

2.2.3 漏检目标和遮挡目标的处理

1)漏检目标的处理 检测器不可能把所有的目标都精确地检测出来,有些目标没有被检测出来,需要对这些目标重新检测。仍然利用目标产生粒子的标号信息,假设相邻帧间目标运动变化是缓慢的,

由于在上一帧中目标不是处于图像的边缘位置,所以在当前帧,目标不会消失。如果粗匹配阶段聚类的结果使一个或几个目标产生的粒子没有分配到检测器检测的目标位置,则说明目标发生了漏检。以一个目标产生的粒子位置的平均值为中心,作半径为 R 的圆(本文中 R 取值为 15)。如果特征点落入圆内的数目超过阈值 T_1 ,说明目标存在,把圆内所有特征点位置的平均值作为重新检测得到的位置。

2) 遮挡目标的检测与处理 在跟踪过程中,目标与目标、目标与背景之间的遮挡会频繁发生,检测遮挡是否发生的方法是在上一帧中计算各个目标之间的距离是否小于阈值 T_2 ,若上一帧中目标之间的距离小于 T_2 并且当前帧中粗匹配阶段聚类结果使距离小于 T_2 目标随机产生的粒子同属于一个聚类,说明这些目标之间发生了遮挡。由于在遮挡过程中,颜色线索起的作用很小,因此,由式(8)(9)可知,颜色线索的权重降低,运动线索的权重增大。采用的遮挡处理方法如下:对于每个遮挡的目标,通过计算每个遮挡目标产生的粒子到检测器检测到的遮挡区域位置的距离,取距离最短的一个粒子作为此目标最终的位置。

3) 新目标的进入 从空间的角度考虑,新目标只可能出现在视频图像帧的边界区域。首先在上一帧中,确定跟踪的哪个目标离边界的距离最近,记下这个目标的标号,并预测在当前帧的位置。在当前帧,根据检测器在边界附近的检测点,计算这些检测点的平均值到标记的目标距离,如果距离大于阈值 T_3 ,并且检测到这些检测点数目大于阈值 N_T ,则说明该目标是一个新目标;当距离小于 T_3 时,则说明此目标是上一帧所标记过的目标。

4) 旧目标的消失 旧目标的消失仍然只可能出现在图像的边界区域。如果目标产生的粒子有 70% 落入到图像边界外,此时判定目标消失。

3 实验结果及分析

3.1 实验环境的建立及算法的评价准则

算法在 Intel Core 2 Duo 2.93 GHz 处理器,内存 2.96 G 计算机上用 Matlab 执行。为了验证本文算法的高效性,所选用的视频均存在目标之间的相互遮挡和背景环境的复杂变化,并将本文算法(HAPSO)和典型的算法(如 BPF^[2]、多实例学习(MIL)^[4])做比

较。文献[2]中的 BPF 方法是文献[1]的扩展,在原有的 BPF 算法基础上,考虑了模板更新机制和行为识别算法,本文只比较添加了模板更新模块的跟踪算法部分,部分算法代码由作者主页提供(<http://www.cs.ubc.ca/~okumak/research.html>)。多示例学习虽然是作为单目标阐述的,但是在本文实验中扩展为多个目标的跟踪,用于判断 MIL 算法对遮挡目标的跟踪效果如何。MIL 的代码从网站下载(<http://vision.ucsd.edu/project/tracking-online-multiple-instance-learning>)。实验中的经验参数设置如表 1 所示。

表 1 中,参数 T_0 是目标是否需要更新的阈值; T_1 表示判断漏检目标的阈值; T_2 表示目标之间是否发生遮挡的阈值; T_3 、 T_4 分别表示目标在上下边界和左右边界是否有新目标出现的阈值, N_T 是检测边界是否有目标所需最少粒子的阈值。

表 1 实验参数的经验值

Table 1 Empirical parameter values used in the tests

视频序列	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	N_T
曲棒球视频	5	12	7	17	20	8
“ThreePastShop1”视频	8	20	12	20	30	12

3.2 实验结果及分析

3.2.1 遮挡环境下目标数目固定的跟踪结果

实验采用来自 PERS2004 数据库“ThreePastShop1.mpg”的视频序列,结果如图 4 所示。这段视频跟踪了 4 个人,(红色跟踪框的目标记为 A,依次粉色的是 B,黄色的是 C,绿色的是 D),从帧 1 190 ~ 1 260 过程中,目标 D 分别与目标 C、B 发生了局部遮挡。MIL 在没有发生遮挡时能够稳定地跟踪,当第 1 217 帧时,目标 C 和 D 发生了遮挡,此算法不能够正确地跟踪遮挡的目标,最终导致对目标 B、C、D 跟踪的失败。BPF 方法从整体考虑,跟踪的精确度优于 MIL。但是该算法的跟踪结果在很大程度上依赖于检测器对目标检测的结果。当遮挡发生时,BPF 不能够检测到遮挡的目标,在遮挡结束后把遮挡的目标作为一个新的目标,此算法不能有效处理目标遮挡发生前后遮挡目标的对应关系。在 1 230 帧目标 C 和 D 的跟踪框发生了交换,即目标 D 变成黄色框跟踪,绿色框跟踪目标 C,从而导致跟踪失败。HAPSO 在处理目标遮挡时,通过等级结构中的上下文信息使遮挡后重现的目标依然能够与遮挡前的目标匹配。多线索的使用能较好地处理目标之间

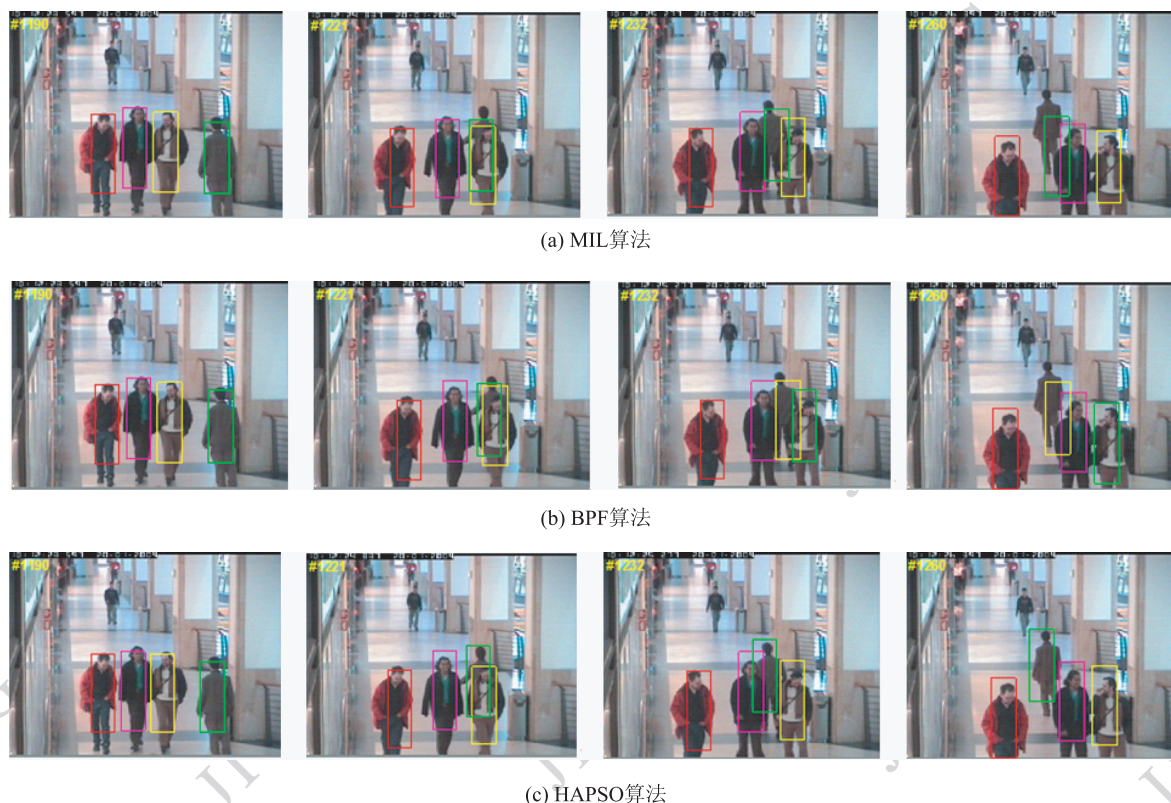


图4 目标遮挡恢复的跟踪结果

Fig. 4 Tracking results when the occluded targets reappear

的遮挡。目标遮挡期间,颜色线索起次要作用,通过自适应提高运动线索的权重,能够使遮挡的目标在遮挡期间仍然被跟踪。仿真结果也表明了 HAPSO 算法的高效性。

3.2.2 复杂环境下目标数目变化的跟踪结果

为了研究复杂环境下(目标与目标、目标与背景之间的遮挡以及光照的变化)目标数目变化的跟踪结果,采用文献[2]的曲棒球视频(<http://www.cs.ubc.ca/~okumak/research.html>),实验结果如图5所示。在初始帧手动设置各个目标的位置。在第659~722帧跟踪的过程中,目标之间各自运动,没有发生遮挡,3种算法都能够稳定地跟踪目标。在第722帧时,视频中有两个目标发生了遮挡,MIL在学习分类器的过程中,错误地学习了背景的样本,造成在后续跟踪过程中误差的不断累积,导致跟踪目标发生了偏移,而其他没有遮挡的目标仍然能够稳定地跟踪。BPF在第722帧目标发生遮挡(尤其是全遮挡),第749帧遮挡结束目标重新出现时,BPF算法会把它当成一个新的目标处理,因此,不能够使这个目标与遮挡前的

目标对应,从而造成跟踪目标的紊乱。而 HAPSO 算法,在粗匹配阶段将上一帧各目标的先验知识融入到当前帧相应目标粒子的产生过程中,因此当目标发生遮挡及遮挡结束目标重新出现时,算法会根据遮挡目标相应粒子的标号信息找到遮挡前的目标。在精确定位阶段,由于 PSO 最终迭代的结果与跟踪目标的真实位置可能存在一定的偏差,通过 Metropolis-Hastings 采样纠正跟踪目标的位置,最后更新这个目标的模板。

3.2.3 不同算法跟踪性能的比较

采用文献[16]实验中的评估准则评估算法的性能。各项评估指标如下:

1) *Recall* (基于帧) 目标正确匹配的数目与标注的目标(ground-truth objects)总数之比;

2) *Precision* (基于帧) 目标正确匹配的数目与跟踪的目标总数之比;

3) *Fa* 每帧中错误跟踪目标的数目(值越小越好,取整个测试视频的平均值);

4) *RO* 目标发生遮挡及遮挡结束后遮挡目标的恢复。

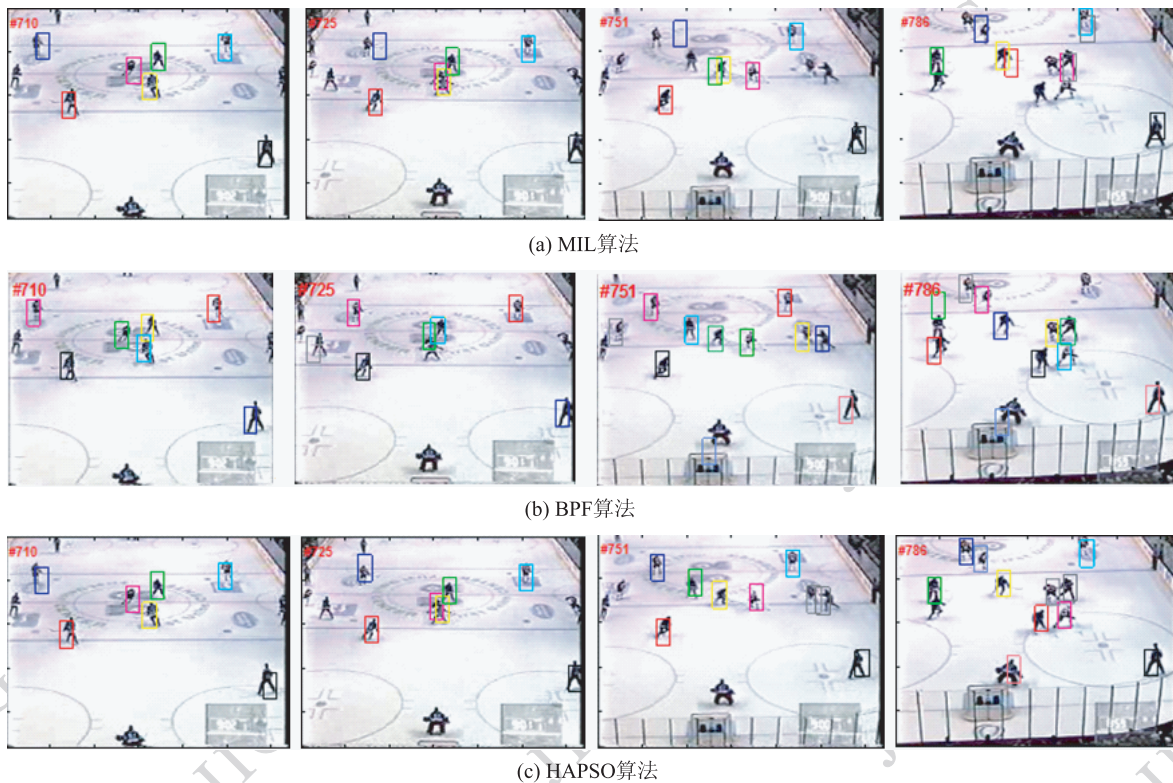


图 5 曲棒球视频序列的跟踪结果

Fig. 5 Tracking results of hockey video sequences

表 2 所示 3 种不同跟踪算法定量分析的结果。采用的数据库仍然是图 5 的曲棒球视频。这段视频有 800 帧, 图像大小为 320×240 像素。MIL 不能够处理目标数目的变化, 并且当目标有大的变化时, 采用颜色这个单一的线索不能够精确的跟踪目标; BPF 算法, 虽然能够较精确地跟踪大多数的目标, 但是当遮挡结束后, 遮挡的目标被检测作为一个新的目标, 不能与遮挡前的目标匹配; 而所提出的 HAPSO 算法在目标发生遮挡时处理遮挡目标的能力优于 MIL 和 BPF。

表 2 定量结果分析

Table 2 Quantitative analysis results

算法	Recall/%	Precision/%	Fa	RO
MIL	65.5	68.5	2.86	2/6
BPF	67.4	80.6	0.97	3/6
HAPSO	76.5	82.5	0.52	5/6

4 结 论

本文提出了等级关联结构, 并融入到检测跟踪

的框架对多个目标进行跟踪。在粗匹配阶段, 利用上一帧中的上下文信息随机产生粒子, 用 M-H 随机采样算法纠正 PSO 精确定位阶段目标的误差, 避免了后续由于误差累计而造成的跟踪失败。特别是在目标之间发生遮挡时, 通过自适应调节不同线索的权重, 来应对环境的变化, 从而提高了跟踪目标的鲁棒性。仿真结果表明, 该算法对于遮挡环境下的多个目标跟踪具有更优越的性能, 可应用于智能监控、实时跟踪等多个领域。

参考文献 (References)

- [1] Okuma K, Taleghani A, Freitas O, et al. A boosted particle filter: multitarget detection and tracking [C]//Proceedings of Europe Conference on Computer Vision. Prague, Czech: Springer, 2004: 1-11.
- [2] Lu W, Okuma K, Little J. Tracking and recognizing actions of multiple hockey players using the boosted particle filter [J]. Image and Vision Computing, 2009, 27: 189-205.
- [3] Song X, Cui J, Zha H, et al. Vision-based multiple interacting targets tracking via on-line supervised learning [C]//Proceedings of Europe Conference on Computer Vision. Paris, France: Springer, 2008: 642-655.

- [4] Babenko B, Yang M, Belongie S. Robust object tracking with on-line multiple instance learning [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(8): 1619-1632.
- [5] Santner J, Leistner C, Saffari A, et al. PROST: parallel robust online simple tracking [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, USA: IEEE, 2010: 723-730.
- [6] Tian M, Zhang W, Liu F. On-line ensemble SVM for robust object tracking [C]//Proceedings of the 8th Asian Conference on Computer Vision. Tokyo, Japan: Springer, 2007: 355-364.
- [7] Kuo C, Nevatia R. How does person identity recognition help multi-person tracking? [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Providence, USA: IEEE, 2011: 1217-1224.
- [8] Breitenstein M, Reichlin F, Leibe B, et al. Online multiperson tracking-by-detection from a single, uncalibrated camera [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(9): 1820-1833.
- [9] Jiang H, Fels S, Little J. A linear programming approach for multiple object tracking [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minneapolis, USA: IEEE, 2007: 1-8.
- [10] Berclaz J, Fleuret F, Turetken E, et al. Multiple object tracking using K-shortest paths optimization [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(9): 1-14.
- [11] Song B, Jeng T, Staudt E, et al. A stochastic graph evolution framework for robust multi-target tracking [C]//Proceedings of European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer, 2010: 1-14.
- [12] Zhang X, Hu W, Qu W, et al. Multiple object tracking via species-based particle swarm optimization [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(11): 1590-1602.
- [13] James K and Eberhart R. Particle swarm optimization [C]//Proceedings of the IEEE Neural Networks. Perth, WA: IEEE, 1995: 1942-1948.
- [14] Rosten E, Drummond T. Fusing points and lines for high performance [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision. Beijing, China: IEEE, 2005, 2: 1508-1515.
- [15] Hastings W. Monte carlo sampling methods using Markov chains and their applications [J]. Biometrika, 1970, 57(1): 97-109.
- [16] Liu X, Lin L, Yan S, et al. Adaptive object tracking by learning hybrid template online [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2011, 21(11): 1588-1599.