



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
12
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像分割 P1610



第18卷第12期（总第212期）

2013年12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

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

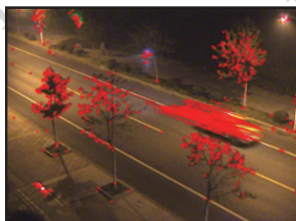
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

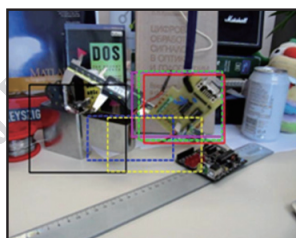
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

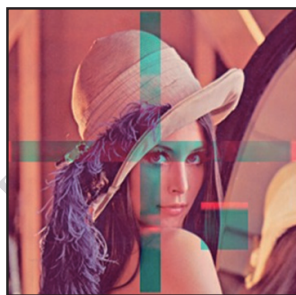
国内定价 50.00元



稀疏光流快速计算的动态目标
检测与跟踪(第1593页)



字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪
(第1628页)



结合SURF特征的多功能彩色
图像水印算法(第1694页)

图像处理和编码

小波子带最优方向性选择和压缩感知的图像编解码

王相海, 程露露, 周夏, 宋传鸣

1551

基于位平面和HVS的信息隐藏算法

张海涛, 姚雪, 陈虹宇, 张晔

1559

混沌密钥调制DFRFT旋转因子的视频加密

金建国, 王乐, 魏明军, 苏晶晶

1567

图像分析和识别

PCA-NLM的纺织品缺陷检测

杨学志, 左海琴, 陈远, 吴克伟, 谢昭

1574

基于主动表观模型姿态矫正和局部加权匹配人脸识别

赵恒, 俞鹏

1582

指纹拓扑模式构建及其在识别中的应用

仲伟波, 吕园, 李敏敏

1587

稀疏光流快速计算的动态目标检测与跟踪

陈添丁, 胡鉴, 吴涛

1593

边缘与灰度检测相结合的场景图像文本定位

何立强, 刘浩, 陈永

1601

Mean Shift图像分割算法的并行化

李宏益, 吴素萍

1610

混合高斯模型的自适应前景提取

李百惠, 杨庚

1620

字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪

查绎, 曹铁勇, 黄辉, 潘竟峰, 尤峻

1628

图像理解和计算机视觉

仿生复眼式全景探测及跟踪策略

罗超, 赵美蓉, 王东, 曹克雄

1637

医学图像处理

利用感兴趣区域从脑部MRI中提取脑组织

江少锋, 万红平, 陈震, 杨素华

1644

“第十届全国智能CAD与数字娱乐会议”专栏

基于Hermite插值的网格拼接和融合

缪永伟, 林海斌, 寿华好

1651

计算机生成中国传统祥云动画

方建文, 彭初, 于金辉

1660

森林动态演替现象的可视化模拟

单梁, 杨刚, 黄心渊

1666

多特征证据理论融合的视觉词典构建

沈项军, 高海迪, 曾兰玲, 毛启容, 詹永照

1676

轨迹和多标签超图配对融合的视频复杂事件检测

柯佳, 詹永照, 陈潇君, 汪满容

1684

结合SURF特征的多功能彩色图像水印算法

朱光, 师文, 朱学芳, 郝世博

1694

采用邻域直方图匹配的矢量纹理图案合成

徐婵婵, 杨刚

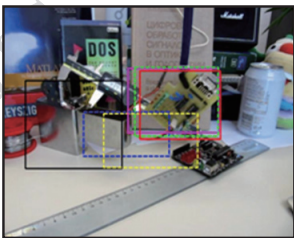
1703

CONTENTS

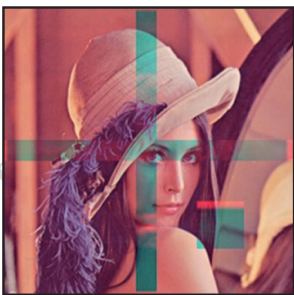
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow (P1593)



Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter(P1628)



Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF(P1694)

Image Processing and Coding

Image codec research on the optimum directional selection of wavelet sub-band and compressed sensing

Wang Xianghai, Cheng Lulu, Zhou Xia, Song Chuanming 1551

Research of information hiding algorithm based on bit-plane and HVS

Zhang Haitao, Yao Xue, Chen Hongyu, Zhang Ye 1559

Video encryption based on chaotic key modulating DFRFT rotation factor

Jin Jianguo, Wang Le, Wei Mingjun, Su Jingjing 1567

Image Analysis and Recognition

Fabric defect detection based on PCA-NLM

Yang Xuezhi, Zuo Haiqin, Chen Yuan, Wu Kewei, Xie Zhao 1574

AAM-based alignment and local weighted matching method for face recognition

Zhao Heng, Yu Peng 1582

Fingerprint topological pattern construction and its application in recognition

Zhong Weibo, Lyu Yuan, Li Minmin 1587

Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow

Chen Tianding, Hu Jian, Wu Di 1593

Text extraction from scene image based on edge and gray-scale detection collaboration

He Liqiang, Liu Hao, Chen Yong 1601

Parallelization of Mean Shift image segmentation algorithm

Li Hongyi, Wu Suping 1610

Adaptive foreground detection approach of Gaussian mixture model

Li Baihui, Yang Geng 1620

Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter

Zha Yi, Cao Tiejong, Huang Hui, Pan Jingfeng, You Jun 1628

Image Understanding and Computer Vision

Bionic compound eye panoramic detection and tracking strategy

Luo Chao, Zhao Meirong, Wang Dong, Cao Kexiong 1637

Medical Image Processing

Automatic brain extraction from cerebral MRI volume using region of interest

Jiang Shaofeng, Wan Hongping, Chen Zhen, Yang Suhua 1644

Issum of CIDE' 2013

Mesh stitching and fusion based on Hermite interpolation scheme

Miao Yongwei, Lin Haibin, Shou Huahao 1651

Computer generation of cloud animation with a Chinese traditional style

Fang Jianwen, Peng Ren, Yu Jinhui 1660

Simulation of the dynamic evolution of spatial distribution of trees in the forest

Shan Liang, Yang Gang, Huang Xinyuan 1666

Visual dictionary construction method based on dempster-shafer evidence theory

Shen Xiangjun, Gao Haidi, Zeng Lanling, Mao Qirong, Zhan Yongzhao 1676

The video complex event detection method of matching integration between trajectory and multi-label hypergraphs

Ke Jia, Zhan Yongzhao, Chen Xiaojun, Wang Manrong 1684

Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF

Zhu Guang, Shi Wen, Zhu Xuefang, Hao Shibao 1694

Vector texture pattern synthesis based on neighborhood histogram matching

Xu Chanchan, Yang Gang 1703

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)12-1593-08

论文引用格式: 陈添丁, 胡鉴, 吴涤. 稀疏光流快速计算的动态目标检测与跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(12): 1593-1600. [DOI: 10.11834/jig.20131207]

稀疏光流快速计算的动态目标检测与跟踪

陈添丁, 胡鉴, 吴涤

浙江工商大学信息与电子工程学院, 杭州 310018

摘要: 动态目标的检测与跟踪作为图像处理和计算机视觉学科的重要分支, 广泛应用于军事和民用等各个领域。提出一种基于稀疏光流快速计算的目标检测和跟踪新方法, 该方法通过计算能反映图像特征的特定像素点光流矢量来实现目标检测和跟踪, 同时结合图像金字塔技术, 可以检测和跟踪运动速度更快、运动尺度更大的目标。将该方法分别与稠密光流方法和基于颜色特征方法进行对比, 结果表明该方法有计算量小、能很好应对目标遮挡情况和能检测并跟踪运动速度较快的目标等诸多优点。在多种条件下对该方法进行了实验验证, 跟踪准确率都能达到80%以上, 且基本能符合实时性的要求, 说明该方法具有可行性和实用价值。

关键词: 稀疏光流; 快速计算; 特定像素; 目标检测; 运动跟踪

Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow

Chen Tianding, Hu Jian, Wu Di

College of Information & Electronic Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China

Abstract: As an important branch of image processing and computer vision, dynamic target detection and tracking is widely applied in military and civilian applications. A new method of target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow is proposed in this paper. Only optical flow vectors of specific pixels which can reflect features of the image are calculated in this method. Furthermore, an image pyramid is combined to detect and track the faster and the larger-scale motions. In this paper, the new method is compared with methods based on dense optical flow and color feature. The comparison results show that the method proposed in this paper has many advantages, such as high calculation efficiency, well dealing with target occlusion, well detecting and tracking fast targets, and so on. Experiments under various conditions are done to validate the effect of this method. Tracking accuracy can reach more than 80% in most cases and the method can also meet the real-time requirement. This indicates that the method is feasible and practical.

Key words: sparse optical flow; fast computation; specific pixels; target detection; motion tracking

0 引言

动态目标的检测与跟踪作为图像处理和计算机视觉的主要分支, 有重要的理论研究和实际应用价

值, 其应用主要分布在军事和民用两个领域。军事主要应用在军用跟踪瞄准系统、无人机跟踪系统等; 民用则主要应用于智能视频监控系統^[1]、智能交通监控系统^[2]、基于视觉的人机交互系统、体感游戏以及图像检索系统等。

收稿日期: 2013-01-22; 修回日期: 2013-05-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(61172172); 浙江省教育厅基金项目(Y201223617)

第一作者简介: 陈添丁(1968—), 男, 副教授, 硕士生导师, 2003年于浙江大学获信息与通信工程博士学位, 主要研究方向为数字图像处理与识别、视觉导航、非真实成像及无线通信的信号处理。E-mail: chentianding@163.com

根据图像背景是否变化以及目标是否运动,目标跟踪大致可以分为两类:静态背景下的运动目标跟踪和动态背景下的运动目标跟踪。由于图像中目标和背景都在变化,动态背景下的运动目标跟踪实现比较困难,而静态背景下的目标跟踪则相对简单,但是也存在很多需要解决的问题,比如遮挡严重、前景目标和背景区分度不大、光线影响较严重等情况,目标检测和跟踪效果不佳。

近年来,利用光流技术进行动态目标跟踪的研究越来越多,也取得了比较好的成果。1981年,Horn和Schunck^[3]创造性地提出速度场与灰度场有相应的联系,并引入光流约束方程,推导出光流计算的基本方法。研究人员们基于文献[3]理论提出了各种不同的光流计算方法。文献[4]和文献[5]将计算光流的方法分为以下几种:基于梯度的方法、基于匹配的方法、基于能量的方法和基于相位的方法等。光流法最典型的是Horn-Schunck(H-S)的光流计算方法,该方法在光流约束方程的基础上附加了全局平滑假设,从而计算出光流场。后来又有大量改进算法不断被提出,Nagel等人^[6]通过加权矩阵的控制对梯度进行不同平滑处理,然后进行光流计算。Black和Anandan^[7]针对多运动的估计问题,提出了分段平滑的方法计算光流。屠大维等人^[8]提出了一种基于梯度阈值的五置信点约束的改进光流算法,提高了运动图像的运动估计精度。储珺等人^[9]在分析H-S算法运算量的基础上提出一种结合Lucas-Kanade(L-K)光流和H-S光流的动态场景运动目标检测方法,大大提高了目标检测的速度。黄佐等人^[10]利用光流法进行逆行异常事件检测。袁红卫等人^[11]提出一种基于光流的目标检测算法来检测大小约为5~10个像素的小尺寸目标。Chen等人^[12]提出一种四元数光流目标跟踪新方法,该方法能更准确地估计光流的变化,并通过保留更多的特征点来减小跟踪错误的概率。

提出一种利用稀疏光流进行动态目标跟踪的方法。光流法作为一种非常有效的目标检测跟踪方法,通过计算运动目标的像素运动矢量来检测运动目标,具有很多其他方法没有的特点,如对目标遮挡不敏感、能检测运动较快且距离较远的目标等。而稀疏光流法是针对稠密光流法提出的,主要是为了解决稠密光流法计算量大的问题,因为稠密光流需要计算图像所有像素点的光流矢量,而稀疏光流只需要计算能反映图像特征的像素点光流矢量,因此

大大提高了计算效率。

1 光流计算

所谓光流是指图像中像素点在前后帧之间形成的运动速度矢量。

1.1 光流约束方程

Horn-Schunck光流计算方法实际上基于两个假设:亮度恒定性假设和空间平滑性假设。亮度恒定性假设是指图像场景中目标的像素在连续的帧间变化时外观上保持不变,对于灰度图像而言,被跟踪的目标像素在运动过程中应该保持亮度不变。空间平滑性假设是指运动物体引起的光流场的变化应该是连续的,平滑的,即物体像素点的运动速度变化非常缓慢且平滑。

假设在 t 时刻,图像中点 (x, y) 处的像素灰度值为 $I(x, y, t)$,经过 Δt 的时间后,即在 $t + \Delta t$ 时刻,点 (x, y) 运动至点 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$,假设此时像素灰度值为 $I(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t)$ 。当 Δt 非常小时,根据前面提到的亮度恒定性假设条件,可以得出

$$I(x, y, t) = I(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) \quad (1)$$

等式右边利用泰勒级数展开,得

$$I(x, y, t) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\partial I}{\partial t} \Delta t + \varepsilon \quad (2)$$

式中, ε 代表泰勒级数展开后二次和二次以上的项。式(2)经化简和取极限运算后可得

$$\frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,定义

$$\begin{cases} u = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta t} \end{cases}$$

式中, u, v 为 t 时刻像素点 (x, y) 在 x 方向和 y 方向上的速度分量,即光流矢量。由式(3)就能得到光流矢量 (u, v) 的光流约束方程,即

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (4)$$

式中, $I_x = \frac{\partial I}{\partial x}, I_y = \frac{\partial I}{\partial y}, I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$ 。式(4)就是由Horn和Schunck最早提出的光流约束方程。

1.2 光流孔径问题

从光流约束方程中可以看到,对于每个像素的光流需要求解 u, v 两个分量,而约束方程只有一个,

显然由一个方程是无法求解两个未知量的, 这种不确定问题被称之为“孔径问题”^[13]。

为了解决这个问题, 还需要其他约束条件才能完整求解光流场信息。采用光流计算方法就是在上述光流约束方程的基础上添加空间平滑的约束条件来求解光流。

2 稀疏光流目标检测与跟踪

传统的光流计算是基于稠密光流的, 实际上在应用中为了满足图像处理的实时性要求, 通常情况下并不通过计算稠密光流来实现目标跟踪, 因为稠密光流的计算量相当大。假设要跟踪的目标没有足够多的纹理信息, 那么很多区域的像素在前后两帧之间根本没有变化, 只有边缘的并且是与运动方向垂直的像素才会发生变化, 因此在进行稠密光流计算时需要在容易跟踪的像素之间进行插值来跟踪那些运动不明确的像素, 这将导致计算量急剧增大。

为了解决这个问题, 采用计算稀疏光流的方法, 稀疏光流法的原理是只对特定的像素点进行光流计算, 这些像素点具有某些特征, 能够很好地反映出被检测图像的特点。采用 Harris 角点作为特征点。光流计算的方法则采用 L-K 方法^[14], 并结合图像金字塔, 实现可以用于跟踪运动尺度大、速度快的目标。

利用稀疏光流实现目标检测和跟踪的流程框图如图 1 所示。

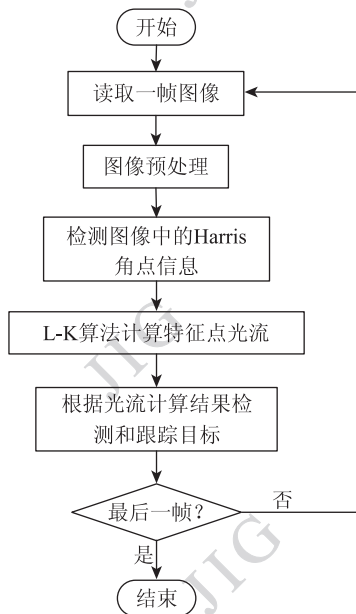


图1 稀疏光流目标跟踪流程框图

Fig. 1 Flow chart of sparse optical flow tracking

2.1 图像预处理

图像预处理主要包括直方图均衡和图像平滑。

直方图均衡主要是为了方便特征点的提取, 因为图像的对比度不够高会导致特征点检测困难。特征点检测效果的好坏直接关系到光流计算的结果, 因此该预处理有着至关重要的作用。

图像平滑也是用于光流计算之前, 光流的计算对图像的平滑性有一定的要求, 若图像平滑性好, 则光流计算的准确性更高, 因此需要事先对图像进行平滑性处理。

2.2 特征点提取

由图 1 可知, 稀疏光流方法只针对图像特征点进行光流计算, 而不像稠密光流计算那样, 对图像每个像素点都进行光流计算。因此, 图像特征点的提取至关重要, 特征点提取的准确性直接关系到最后光流矢量的计算结果。本文特征点采用 Harris 角点。

角点是指在两个正交的方向上都有明显的导数, 它们相对其他点来讲更加独一无二, 直观上理解, 角点(非边缘)是一类含有足够信息, 能够在前后两帧中很方便地被提取出来的点。

最被大家接受的角点定义是由 Harris^[15] 在 1988 年提出的。Harris 角点定义的基础是图像灰度的二阶导数矩阵。假设图像所有像素点的二阶导数形成一幅新的“二阶导数图像”。Harris 算子 $E(u, v)$ 用泰勒展开去近似任意方向, 即

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2 = \sum_{x, y} w(x, y) [I_x u + I_y v + O(u^2, v^2)]^2 \quad (5)$$

式中, I_x 为 x 方向差分, I_y 为 y 方向差分, $w(x, y)$ 为高斯函数。

假设

$$M = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} = w(x, y) \begin{bmatrix} \sum_{x, y} I_x^2 & \sum_{x, y} I_x I_y \\ \sum_{x, y} I_x I_y & \sum_{x, y} I_y^2 \end{bmatrix}$$

则 $E(u, v)$ 可以写成

$$E(u, v) = [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (6)$$

用矩阵 M 的两个特征值 α, β 来表征两个不同方向纹理的变化, 若两个值均很大时则是角点, 一大

一小则是边缘,两个都很小时则是图像平坦区域。但是计算特征值计算量很大,因此 Harris 提出一种变通的计算方法,就是计算矩阵 M 的行列式值和矩阵迹平方的差值,计算公式为

$$R = \det M - k(\operatorname{tr} M)^2 \quad (7)$$

式中, k 为权重系数,一般取 $0.4 \sim 0.6$ 较合适,本实验中取 0.5 。

计算所得 R 值和预先设定的阈值相比较,若大于该阈值,则视为角点。

2.3 光流快速计算及目标跟踪

2.2 节中提取特征角点后,利用 L-K 算法^[14] 计算特征角点像素的光流矢量,达到减小计算量、快速计算光流的目的。该算法基于以下 3 个假设:

1) 亮度恒定 图像场景中目标的像素在帧间运动时外观保持不变。

2) 连续缓慢运动 图像中目标随时间的变化比较缓慢,即没有突发的大尺度运动情况。

3) 空间一致 一个场景中同一表面上临近的像素点具有相似的运动。

L-K 算法利用上述假设 3) 来解决 1.2 节中提到的光流计算“孔径问题”。根据假设,若一个局部区域的像素运动是一致的,则可以建立邻域像素的系统方程来求解中心像素的运动。邻域窗口大小理论上可以随意指定,但是如果窗口太大,则违背运动一致的假设不利于跟踪,窗口太小则又会产生“孔径问题”。本文取 5×5 邻域窗口,根据当前像素 5×5 邻域像素的灰度值来计算该像素的运动,则可以建立 25 个方程,即

$$\underbrace{\begin{bmatrix} I_x(p_1) & I_y(p_1) \\ I_x(p_2) & I_y(p_2) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(p_{25}) & I_y(p_{25}) \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}}_d = \underbrace{\begin{bmatrix} I_t(p_1) \\ I_t(p_2) \\ \vdots \\ I_t(p_{25}) \end{bmatrix}}_b \quad (8)$$

通过式(9)来求解最小化的 $\|Ad - b\|^2$, 即

$$(A^T A)d = A^T b \quad (9)$$

根据线性代数知识,若 $(A^T A)$ 可逆时,方程组的解如式(10)所示,即

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (10)$$

当 $(A^T A)$ 有两个较大特征向量时, $(A^T A)$ 可逆。当图像区域中的纹理至少包含两个梯度方向,则该条件就可以满足,就可以求解该方程。

该方法是基于一条连续缓慢运动的假设,而在

实际情况中,大多数图像场景并不符合这一假设,尺度大而不连续的运动非常常见。采用图像金字塔^[16] 来解决这个问题,即最初在较大尺度的空间内跟踪,然后逐步缩小跟踪范围,不断修正上一步得到的运动矢量值。

具体做法是从图像金字塔的最高层开始计算光流,然后将该层计算结果作为下一层计算的起始值,重复这个过程直到金字塔的最底层。这样就将不满足连续缓慢运动假设的可能性降到最小,从而实现对更快和尺度更大的运动进行跟踪。

根据上述计算结果,可以得到一张目标图像的光流矢量图,得到光流矢量图后,以椭圆形式标示目标。对于单个运动目标,可以设定一个光流矢量的阈值,确定哪些点的运动幅度超过这个阈值,超过的点形成一个集合,然后在图像上绘制椭圆,该椭圆必须尽可能小但又能将提到的集合中的点全部包含在内。

3 实验和数据分析

选取多个不同场景进行目标检测和跟踪实验。大致可分为室内环境和室外环境,跟踪的目标主要有行人,汽车等。

为了说明本文方法的优点,编程实现了文献[17]中稠密光流计算方法和文献[18]中基于颜色特征的目标跟踪方法,并给出了实验结果,以便和本文方法作对比分析。

3.1 结果评估及分析

首先给出本文方法的实验结果,并对结果进行评估和分析。由于篇幅所限,这里只给出其中两种实验条件下的图示结果,如图 2 和图 3 所示。

室内正常光线条件下,对行人进行跟踪,目标距离适中,跟踪过程中目标有完全被遮挡的情况。由于光流法只对图像中运动的特征点进行跟踪,因此能很好地应用于运动目标被局部遮挡或者完全遮挡的情形,目标被遮挡后一旦重新出现,就能马上被检测到。本视频图像总共 78 帧,其中有效帧 65 帧,有 2 帧出现部分目标丢失情况,未出现目标完全丢失情况,跟踪准确率 96.92%。

室外弱光线条件下,对行驶中的汽车进行跟踪,目标距离较远,而且运动速度也较快。此实验结果说明本文方法对光线强度要求不高,只要能保证准确检测到特征点即可,同时也可以看出本文方法对较远距离且运动速度较快的目标跟踪效果也比较

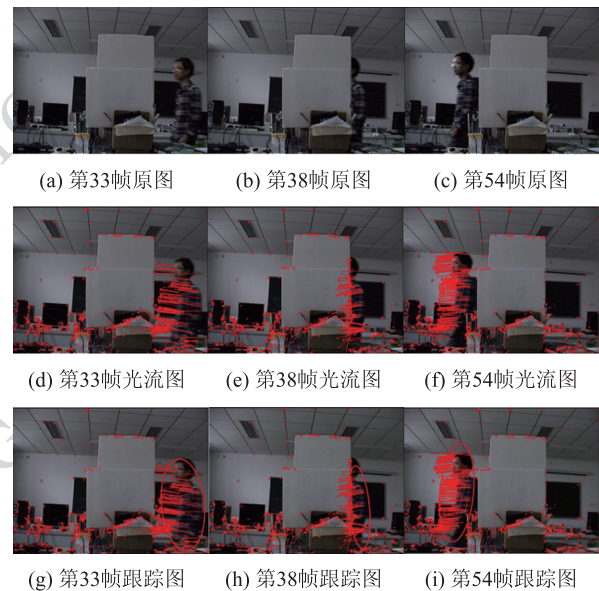


图 2 室内正常光线目标完全遮挡实验结果
Fig. 2 Experiment results under normal indoor light condition and completely occluded



图 3 室外弱光线目标无遮挡实验结果
Fig. 3 Experiment results under weak outdoor light condition and non-occlusion

好。本视频图像总共 113 帧,其中有效帧 78 帧,有 13 帧出现部分丢失目标,跟踪准确率为 83.33%。

表 1 中给出了各种实验条件下利用稀疏光流法进行目标跟踪的实验结果。从表 1 中可以看出,本文方法大多数情况下都能够取得比较好的跟踪效果,跟踪的准确率能达到 80% 以上,特别是针对目标有遮挡、距离较远、运动较快的情况和弱光线条件的情

况也有良好的表现,这是本文方法相对于其他方法的优点所在。但当目标距离超过一定范围时,本文方法优势就不明显,如表 1 第 5 种实验条件(室外正常光线,汽车距离较远,无遮挡)下,当普通汽车目标距离大于大约 20 m 时就会出现目标丢失的情况。综合分析,提出的稀疏光流快速计算的目标跟踪方法有很好的可行性和实用性。

表 1 本文方法不同实验条件下跟踪效果

Table 1 Experiment results under different experimental conditions of method based on the proposed method

实验条件	视频总帧数	有效帧数	目标部分丢失帧数	目标全部丢失帧数	跟踪准确率/%
室内正常光线、行人无遮挡	80	80	1	0	98.75
室内正常光线、行人完全遮挡	78	65	2	0	96.92
室内正常光线、水杯目标与背景区分度小	320	146	98	32	10.95
室内弱光线、包装盒无遮挡	130	105	8	0	92.38
室外正常光线、汽车距离较远、无遮挡	102	95	5	6	88.42
室外正常光线、汽车距离较远、局部遮挡	90	79	16	0	79.75
室外弱光线、汽车距离较远、无遮挡	113	78	13	0	83.33

3.2 对比分析

3.2.1 稠密光流跟踪

根据文献[17]中提到的稠密光流计算方法,进行了编程实现,并在不同实验条件下进行了实验验证。篇幅所限,这里只给出了室内正常光线目标完

全遮挡情况下的实验图示结果,如图 4 所示。

从实验结果来看,稠密光流方法大多数条件下也能取得较好的跟踪效果,特别是在正常光线下对行人、汽车的跟踪。对于光线稍差的条件下,也有 90% 左右的跟踪准确率。在目标与背景区分度不大

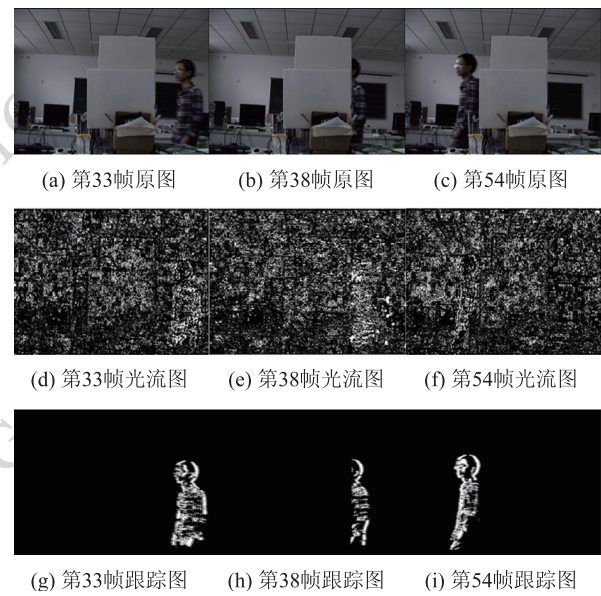


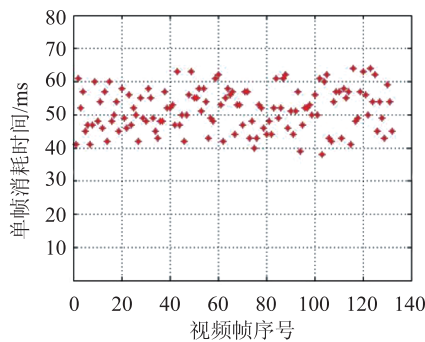
图4 文献[17]室内正常光线目标完全遮挡实验结果

Fig. 4 Experiment results under normal indoor light condition and completely occluded based on reference[17]

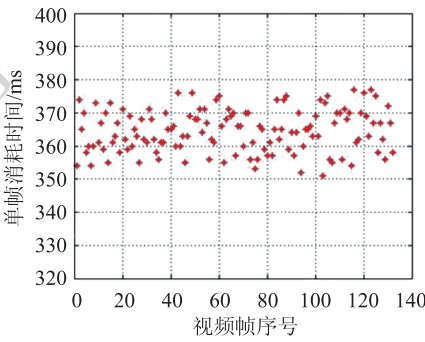
表2 稀疏光流法和稠密光流法实验结果对比(稀疏光流法/稠密光流法)

Table 2 Results comparison of methods based on sparse optical flow and dense optical flow (sparse optical flow / dense optical flow)

实验条件	有效帧数	目标部分丢失帧数	目标全部丢失帧数	跟踪准确率/%
室内正常光线、行人无遮挡	80	1/0	0/0	98.8/100
室内正常光线、行人完全遮挡	65	2/1	0/0	96.9/98.5
室内正常光线、水杯、目标与背景区分度小	146	98/88	32/15	11.0/29.5
室外正常光线、汽车距离较远、无遮挡	95	5/4	6/0	88.4/95.8
室外弱光线、汽车距离远无遮挡	78	13/10	0/0	83.8/87.2



(a) 稀疏光流跟踪方法单帧图像跟踪耗时



(b) 稠密光流跟踪方法单帧图像跟踪耗时

图5 稀疏光流和稠密光流目标跟踪方法耗时对比图

Fig. 5 Time-consuming comparison chart of methods based on sparse optical flow and dense optical flow

的情况下也存在和稀疏光流跟踪方法类似的问题。

表2给出了稀疏光流法和稠密光流法实验结果对比数据。

根据表2的结果,结合前面的分析,可以看出两种光流跟踪方法的效果相当,在弱光线条件下,稠密光流跟踪方法效果会比稀疏光流跟踪法稍好。但是和稀疏光流跟踪方法相比,稠密光流跟踪方法存在一个很大的问题,即计算量太大,不能满足实时系统的要求。实验条件“正常光线条件下目标无遮挡”中的视频中各帧跟踪计算所耗时间进行了测算,结果如下图5所示。根据测算的结果,实验中处理一帧 640×480 大小的图片,稀疏光流跟踪方法平均耗时为52 ms,而稠密光流跟踪方法平均耗时则为368 ms,这说明稠密光流跟踪方法是很难满足实时系统的要求的,这也是本文研究的稀疏光流跟踪的意义所在。

3.2.2 颜色特征跟踪

根据文献[18]中提到的基于颜色直方图的 CamShift 目标跟踪方法,进行了编程实现,并在不同实验条件下对其进行了实验验证。篇幅所限,这里仅给出一种实验条件下的结果,如图 6 所示。

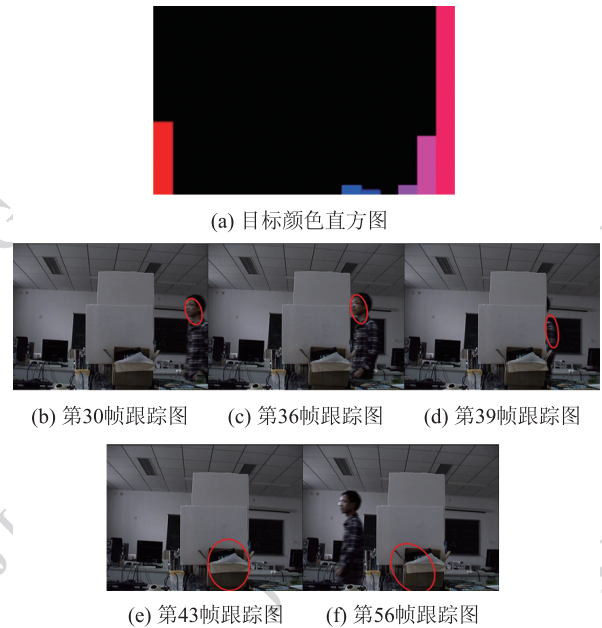


图 6 室内正常光线目标全部遮挡实验结果

Fig. 6 Experimental results under normal indoor light condition

从实验结果来看,基于颜色直方图的 CamShift 跟踪方法对距离较近的目标跟踪效果比较好,但如

果目标出现遮挡的情况时,跟踪效果会急剧下降,实验中目标被遮挡时该方法的跟踪准确率仅为 36.92%,而稀疏光流跟踪方法则达 96.92%。另外对于距离较远和弱光线条件下,该方法的跟踪效果也很差。

表 3 中给出了稀疏光流法和颜色直方图的 CamShift 跟踪方法的实验结果对比。从表 3 中可以看出,相对于颜色直方图的 CamShift 跟踪方法,基于稀疏光流的跟踪方法具有以下两大优势:1)能很好地应付目标被完全遮挡的情形;2)对于目标距离较远、目标运动速度较快的情形,基于稀疏光流的跟踪方法也能取得比较好的跟踪效果。

4 结 论

从实验的验证结果及数据分析,提出的稀疏光流快速计算的目标检测和跟踪方法具有较好的可行性和很高的实用价值。在各种不同的实验条件下,跟踪的准确率基本都能达到 80% 以上,有些条件下甚至达到 90% 以上。相对于稠密光流跟踪方法,虽然该方法跟踪效果在某些场景下会略有逊色,但是计算量却大大减小,解决了稠密光流跟踪方法不能应用于实时系统的缺陷。相对于基于颜色特征的跟踪方法,该方法则有更大优势,不仅跟踪准确率要高出很多,而且能很好地应对目标遮挡、运动速度较快,目标距离远等情况。

表 3 稀疏光流法和颜色特征方法实验结果对比(稀疏光流法/颜色特征方法)

Table 3 Results comparison of methods based on sparse optical flow and color feature (sparse optical flow / color feature)

实验条件	有效帧数	目标部分丢失帧数	目标全部丢失帧数	跟踪准确率/%
室内正常光线、行人无遮挡	80	1/9	0/0	98.8/88.8
室内正常光线、行人完全遮挡	65	2/11	0/30	96.9/36.9
室内弱光线、包装盒无遮挡	105	8/10	0/1	92.4/89.5
室外正常光线、汽车距离较远、无遮挡	95	5/45	6/18	88.4/33.7
室外弱光线、汽车距离较远、无遮挡	78	13/11	0/40	83.3/34.6

参考文献 (References)

[1] Song L, Huang X L, Shen L S. Summary of video monitoring system[J]. Measurement and Control Technology, 2003, 22(5): 33-35. [宋磊, 黄祥林, 沈兰荪. 视频监控系统概述[J]. 测控技术, 2003, 22(5): 33-35.]

[2] Hue C, Le Cadre J-P, Perez P, et al. Tracking multiple objects

with particle filtering[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2002, 38(3): 791-812.

[3] Horn B K P, Schunck B G. Determining optical flow[J]. Artificial Intelligence, 1981, 17: 185-203.

[4] Wang H. Research on optical flow computation of video and image[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2007. [王晖. 视频图像的光流计算方法研究[D]. 湖南: 国

- 防科技大学,2007.]
- [5] Bruhn A, Weickert J. Combining local and global optic flow methods[J]. International Journal of Computer Vision, 2005, 61(3):211-231.
- [6] Nagel H H, Enkelmann W. An investigation of smoothness constraints for the estimation of displacement vector field from image sequences[J]. IEEE Trans. on Pattern Analyze and Machine Intelligence, 1986, 8(5):565-593.
- [7] Black M J, Anandan P. The robust estimation of multiple motions: parametric and piecewise-smooth flow fields[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1996, 63(1):75-104.
- [8] Tu D W, Jiang J L. Improved algorithm for motion image analysis based on optical flow and its application[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(5):1159-1164.
- [9] Chu J, Shi M, Fu X. Detection of moving target in dynamic background based on optical flow[J]. Journal of Nanchang Hangkong University: Natural Sciences, 2011, 25(3):1-6.
- [10] Huang Z, Xu Y, Yang X K, et al. Method for opposing flow abnormal event detection based on optical flow[J]. Video Application & Project, 2011, 35(13):102-105. [黄佐, 徐奕, 杨小康, 等. 一种基于光流法的逆行异常事件检测方法[J]. 视频应用于工程, 2011, 35(13):102-105.]
- [11] Yuan H W, Lu Y, Mao H G, et al. A Small moving object extraction algorithm based on optical flow[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2012, 1(10):67-70. [袁红卫, 卢雁, 毛海岑, 等. 基于光流的运动小目标检测算法[J]. 光学与光电技术, 2012, 1(10):67-70.]
- [12] Chen E, Xu Y, Yang X K, et al. Quaternion based optical flow estimation for robust object tracking[J]. Digital Signal Processing, 2013, 23(1):118-125.
- [13] Bradski G, Kaebler A. Learning OpenCV[M]. USA: O'Reilly Media Inc., 2009:1-2.
- [14] Lucas B, Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision[C]//Proceedings of DARPA Image Understanding Workshop. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1981, 121-130.
- [15] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. UK: The Plessey Company Plc., 1988, 147-151.
- [16] Wei B G, Li J. Fast optical flow algorithm for large-scale motion[J]. Application Research of Computer, 2012, 9(29):3551-3557. [卫保国, 李晶. 一种针对大尺寸运动的快速光流算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 9(29):3551-3557.]
- [17] Tao L. Image information extraction based on optical flow technology[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005. [陶琳. 基于光流技术的图像信息提取[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.]
- [18] Lian H S, Qiao B, Hu P, et al. A visual object tracking algorithm based on features of color and profile[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2004, 31(3):77-80. [连红森, 乔兵, 胡鹏, 等. 基于颜色和轮廓特征的目标视觉跟踪算法研究[J]. 火箭与制导学报, 2011, 31(3):77-80.]