

基于特征约束与光流场模型的多通道视频目标跟踪算法

张博, 龙慧, 刘刚

引用本文:

张博, 龙慧, 刘刚. 基于特征约束与光流场模型的多通道视频目标跟踪算法[J]. 液晶与显示, 2021, 36(11): 1554–1564.

ZHANG Bo, LONG Hui, LIU Gang. Multi-channel video target tracking algorithm based on feature constraint and optical flow field model[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(11): 1554–1564.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2021-0113>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

自适应多尺度颜色特征目标跟踪算法研究

Adaptive multi-scale color feature target tracking algorithm

液晶与显示. 2019, 34(3): 291–301 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193403.0291>

基于卷积神经网络的响应自适应跟踪

Response adaptive tracking based on convolution neural network

液晶与显示. 2018, 33(7): 596–605 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183307.0596>

基于改进纹理特征的红外目标跟踪算法

Infrared target tracking based on improved LBP feature

液晶与显示. 2018, 33(12): 1040–1046 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183312.1040>

无人机视频图像运动目标检测算法综述

Review of moving target detection algorithms for UAV video images

液晶与显示. 2019, 34(1): 98–109 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0098>

基于多模板的深度核相关滤波跟踪

Depth kernel correlation filtering tracking based on multi-template

液晶与显示. 2017, 32(12): 993–998 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173212.0993>

文章编号:1007-2780(2021)11-1554-11

基于特征约束与光流场模型的多通道 视频目标跟踪算法

张 博^{1*}, 龙 慧¹, 刘 刚^{1,2}

(1. 长沙师范学院 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410100;

2. 中南大学 物理与电子学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 现有的目标跟踪算法中网格信息的冗余度较高, 增加了跟踪算法的复杂程度, 使得跟踪时计算量过大, 影响了跟踪效果。为此, 以降低跟踪过程复杂度为首要目标, 本文在考虑特征约束的情况下, 利用光流场模型实现对多通道视频目标的有效跟踪。通过设定视频随机变量控制光流场数值模型的变化控制偏差并提取出多通道视频的归一化特征, 引入全局池化处理方式解决传统方法多维度特征计算繁杂的问题。首先, 根据图像像素强度与时间参数间的数值关系, 控制光流场模型均值的偏差, 得到视频特征; 然后, 利用激活函数将多通道参数数值映射处理为固定参数, 构建多通道特征约束关系控制特征参数发生升维, 减少数据计算维数; 最后, 划分视频图像中的背景及目标区域, 通过构建像素运动模型完成对视频目标的跟踪。在设置实验仪器初始参数后, 在数据库中随机选取视频片段作为实验对象, 并通过设定不同帧图像的分辨率将其模拟为多通道视频信息, 对传统算法与本文算法的性能展开测试, 结果表明: 本文算法不仅可以保证跟踪精确度高于 0.90, 还能将成功追踪率控制在 96% 以上, 且其跟踪过程耗时最多仅需 5.5 s。本文算法能够用复杂度较低的计算过程实现对多通道视频目标的跟踪, 具有较低的计算量。

关键词: 特征约束; 光流场模型; 多通道; 视频目标; 目标跟踪

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2021-0113

Multi-channel video target tracking algorithm based on feature constraint and optical flow field model

ZHANG Bo^{1*}, LONG Hui¹, LIU Gang^{1,2}(1. College of Information Science and Engineering, Changsha Normal University,
Changsha 410100, China;

2. School of Physics and Electronics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The miscellaneity of grid information in the existing target tracking algorithm is high,

收稿日期: 2021-04-23; **修订日期:** 2021-05-24.

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(No.41904127); 湖南省普通高等学校教学改革研究项目(No.HNJG-2021-1195); 教育部中国高校产学研创新基金(No.2020JTA05028); 教育部产学研合作协同育人项目(No.201901014024); 湖南省教育厅科学研究项目重点项目(No.20A036)

Supported by Youth Fund of National Natural Science Foundation of China(No.41904127); Research Project of Teaching Reform in Hunan Province Universities(No.HNJG-2021-1195); Ministry of Education China University Industry-University-Pesearch Innovation Fund(No.2020JTA05028); Cooperative Education Program of Ministry of Education(No.201901014024); Key Project of Scientific Research Project of Hunan Provincial Department of Education(No.20A036)

* 通信联系人, E-mail: zb801121@126.com

which increases the complexity of the tracking algorithm and makes the calculation amount of tracking too large, which affects the tracking effect. Therefore, the primary goal is reducing the complexity of the tracking process. In this paper, under the condition of considering the feature constraints, the optical flow field model is used to achieve the effective tracking of multi-channel video targets. The video random variable is set to control the variation of the numerical model of optical flow field, so as to control the deviation and extract the normalized features of multi-channel video, and the global pooling processing method is introduced to solve the problem of complex calculation of multi-dimensional features in the traditional method. Firstly, according to the numerical relationship between image pixel intensity and time parameters, the deviation of the mean value of optical flow field model is controlled to obtain video features. Then, the activation function is used to map the multi-channel parameters into fixed parameters, and the multi-channel feature constraint relationship is constructed to control the increasing dimension of the feature parameters and reduce the calculation dimension of the data. Finally, the background and target areas in the video image are divided, and the video target is tracked by constructing the pixel motion model. After setting the initial parameters of the experimental instrument, the video clips are randomly selected from the database as the experimental object, and the image resolution of different frames is set to simulate them as multi-channel video information. The performance tests of the traditional algorithm and the proposed algorithm are carried out, and the results show that the algorithm in this paper can not only guarantee the tracking accuracy higher than 0.90, but also control the successful tracking rate above 96%, and the tracking process takes only 5.5 s at most. The algorithm in this paper can track multi-channel video target with low computational complexity and has low computational cost.

Key words: feature constraints; optical flow field model; multi-channel; video objectives; target tracking

1 引 言

在不同成像条件下,不同目标物体存在着多种呈现模式以及灰度变化,在图像配准技术的控制下,逐渐演化出多种图像特征,不同视频帧存在着不同特征参数,以该参数作为特征属性约束条件,制品通道内也就产生了多种特征约束过程。在微电子技术不断创新突破的背景下,数字信号处理单元逐渐成为视频处理系统的核心处理模块,经处理单元处理后的视频也就形成了多通道视频^[1]。多频道视频内部有着多种通道结构,不同的通道结构存在着不同的可追踪目标。为此,在特征约束和光流场模型的支持下,针对多通道视频目标构建一种目标跟踪算法,能够应用到多个领域中,为人机交互以及视频监控技术提供技术支持。

从当下的目标跟踪算法组成来看,其在大体上包括生成式跟踪和判断式跟踪两种类别。生成式跟踪过程需将目标跟踪转化为临近搜索,并构

建一个追踪过程,不断设定跟踪区域条件,实现跟踪范围的逼近,并形成一个追踪过程。判断式跟踪算法能够将视频目标划分为一个二元分类过程,采用不同参数的分类器,将视频目标从视频背景当中抽取出来,并形成一个动态的抽取过程,实现了视频目标跟踪过程。但从实际应用角度来看,生成式跟踪过程的计算量较大,存在一定的时滞性。判断式跟踪算法实际使用的训练器内含多种背景信息,能够实时在线进行匹配,极大地方便了跟踪视频目标任务运行。

随着网络特征提取方法的发展,目标跟踪算法获取了质的飞跃,受到多通道视频层次的影响,视频目标存在大量的卷积特征,影响了跟踪算法的运行时间。在视频联网状态下,更新网络系数后,现有跟踪算法跟踪速度较小,无法达到即时跟踪的效果。由此可知,研究目标跟踪算法是很有必要的。

文献[2]中通过增强边缘特征的学习程度来强化特征提取,通过自适应更新进行是否需要模型更新的判断,从而完成对相关滤波目标的跟踪

处理。该算法能够较好地适应复杂背景干扰,但其阈值设置判断需要丰富经验,对结果的误差影响较大。文献[3]采用 Multi-Egocentric 技术的跟踪算法,能够对应多通道视频目标构建跟踪框架,能够提升实际跟踪时的速度,但其实际的跟踪精度较差。文献[4]设计了双相关滤波器的跟踪算法,能够将不同通道内的视频目标处理为不同模型,对应不同的运动模型,构建不同的跟踪过程。其能够一定程度上增强跟踪结果的精度,但跟踪耗时较长。文献[5]提出与快速多域卷积神经网络融合的跟踪算法,能够综合多通道视频中的特征,增强了跟踪结果的精度,但得到的特征信息较多,在实际运行时,会产生较大的荷载,增加了跟踪算法的处理时间。文献[6]提出将多层深度线性特征插值运算,通过特征融合训练深度模型。但该算法的深度模型是在海量图片训练集上得到的,计算量繁重,耗时较长。文献[7]使用多层卷积特征计算视频图像多目标的相关性,然后采用自适应决策融合响应特征,从而跟踪目标信息。但该算法需要综合多个跟踪器的历史信息,计算量较复杂。文献[8]融入了改进 RT-MDNet 的跟踪算法,能够使用改进优化处理后的网络,将多通道内的视频图像划分为不同的网格尺度,能够增强原有跟踪时的精度。但其形成的网格尺度信息较为冗杂,在管理信息时存在一定的难度。文献[9]采用了自适应深度学习技术的跟踪算法能够及时修正视频图像中产生的外观形变,排除一定的背景干扰。但该跟踪算法无法保证跟踪算法的鲁棒性,容易产生跟踪丢失的情况。文献[10]根据目标位置估算结果设计跟踪算法,能够结合不同通道结构,估算视频目标的位置参数,并使用该参数搭建一个跟踪过程。该种跟踪算法极大地减少了算法的计算量,但在参数固定阶段容易受到外部噪声的影响,产生一定的跟踪偏差。文献[11]通过遮挡检测技术设计融合算法,再根据多块位置信息融合结果检测得到视频中遮挡位置的参数,增强了跟踪算法的性能。但其对检测环境的要求较高,还不具有成熟的操作性。

图像中构成 2D 瞬时速度场的像素的集合被称为光流场。从计算机视觉处理过程来看,利用光流场处理的方法占据着重要的位置。从光流场处理过程来看,能够一定程度地恢复视频图像中物体的三维结构和运动规律,是计算机图像处理

技术中的重要处理工具^[12]。

为此,针对传统的目标跟踪算法存在的不足,本研究基于特征约束与光流场模型设计了一种新的多通道视频目标跟踪算法。该算法利用像素参数控制光流场模型偏差,然后通过归一化处理获得多通道视频特征,将多维度的特征经过全局池化处理映射为一个参数数值,实现特征约束,从而有效减少目标跟踪计算量。

2 多通道视频目标跟踪算法

本文算法的设计思路如图 1 所示。

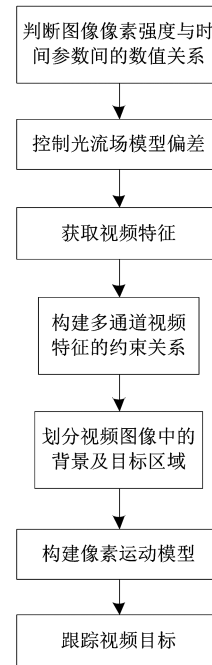


图 1 多通道视频目标跟踪算法的设计思路

Fig.1 Design idea of the multi-channel video target tracking algorithm

2.1 视频特征分析

本研究在利用光流模型分析视频特征时,将视频图像中的某帧图像作为处理对象,根据检测得到的图像像素强度与时间参数间的数值关系,采用移动向量和的方法,在某时间尺度内,设定视频图像的强度,设定的强度数值可表示为:

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

其中: $I(x, y, t)$ 表示 t 时刻内像素点的强度, x, y 表示像素点的所处位置。假定在固定的视频周期 Δt 内,视频像素产生了一定增加,此时像素点就

可表示为:

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

上述计算公式中,各项参数含义不变。综合上述两项像素点间的数值关系,此时就可计算得到像素点变化前后的数值关系,就可表示为:

$$\frac{\partial I}{\partial t}V_x + \frac{\partial I}{\partial t}V_y + \frac{\partial I}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

其中: V_x 、 V_y 为 $I(x, y, t)$ 的光流分量, $\frac{\partial I}{\partial t}$ 表示像素点间的偏导数。在重复处理后,光流场模型的数值关系就可表示为:

$$I_x V_x + I_y V_y = -I_t, \quad (4)$$

其中: I_t 表示光流场模型的尺度变化时间。在该数值模型的控制下,多通道的视频图像中,复杂的背景会引起光流场数值的变化,为此设定一个视频随机变量 X ,可表示为:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (5)$$

其中: x_n 表示视频图像的像素点方差。对应单个图像的像素采样点,使用高斯分布概率,计算单独像素采样点的概率密度,可表示为:

$$p(x_t) = \sum_{i=1}^k w_i \times \eta, \quad (6)$$

其中: w_i 表示像素采样点参数, η 表示随机变量参数, k 表示分布模式参数。在设定高斯分布的隶属时间参数后,设定新像素参数 X_t ,控制模型均值的偏差 λ_σ ,此时视频特征的匹配参数关系就可表示为:

$$|X_t - u_{i,t-1}| < \lambda_\sigma, \quad (7)$$

其中: $u_{i,t-1}$ 表示匹配像素的分布参数。当视频图像符合上述计算公式(7)的数值关系时,此时定义该背景像素为前景,权重更新上述参数,对像素模型更新归一化处理后,最终得到的视频特征就可表示为:

$$w_{k,t} = \frac{1-\alpha}{M_{k,t}}, \quad (8)$$

其中, α 表示归一参数, $M_{k,t}$ 表示视频像素匹配参数。使用上述得到的视频特征,可以构建多通道特征约束关系。

2.2 多通道视频特征约束关系分析

在上述得到的视频特征下,采用全局池化处理方式,将多维度特征映射为一个特征数值,处理过程可表示为:

$$s_c = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H x(i, j), \quad (9)$$

其中: s_c 表示第 c 个视频通道的特征参数, $x(i, j)$ 表示池化处理后的特征数值, W 、 H 表示图像通道维度。映射处理后,连接图像像素特征值,并进行降维处理,设定一个缩放参数,像素特征值就可表示为:

$$x_d = H(x_c, s_c), \quad (10)$$

其中: x_d 表示缩放参数处理后的像素特征数值,其余参数含义不变。缩放处理时,视频图像的特征参数容易产生一定的升维^[13-14],多通道的视频参数产生了一定的贡献度,采用一个激活函数,将多通道的数值大小映射成为一个参数数值,就可表示为:

$$AP = \frac{f_{\max}}{m(\sum_{w,h} (f_{w,h} - f_{\min})^2)}, \quad (11)$$

其中: $f_{\min}$ 、 $f_{\max}$ 表示视频多通道最值响应函数, $f_{w,h}$ 表示像素维度数值下的处理函数。在上述数量关系下,不同像素帧下的图像呈现处理多峰起伏的状态^[15],影响了多通道视频的背景变换,为此,采用上述参数数值,设定一个参数更新关系,更新关系可表示为:

$$\begin{cases} f_{\max} > \beta f_{w,h} \\ AP > \beta f_{\min} \end{cases}, \quad (12)$$

其中: β 表示更新参数,其余参数含义不变。随着视频各个图像间切换,更新处理后的多通道视频背景容易产生一定的尺度偏差^[16-17],在对应的视频通道内设定一个尺度因子 a ,将多通道看作为不同的尺度级别,此时多通道的视频尺度就可表示为:

$$S = [a^{1-\frac{1}{n}}, a^{2-\frac{2}{n}}, \dots, a^{n-\frac{3}{n}}], \quad (13)$$

其中: S 表示尺度级别, n 表示尺度的缩放参数。由上述参数得到统一标准的尺度截取框,可表示为:

$$CD = (1+p) \times a^{m-\frac{2}{n}}, \quad (14)$$

其中: CD 表示得到的尺度截取框, p 表示上曲参数, m 表示尺度参数。为了控制尺度截取框的精度,将对应处理帧的图像处理为多个图像块^[18-19],构建形成的多通道特征约束关系就可表示为:

$$l(x_{m,n}^i) = \frac{1}{\min(N+\frac{2}{n})} (k + \sum_{i=1} x_{m,n}^i), \quad (15)$$

其中: i 表示视频图像的尺度通道, N 表示视频图像中的通道总数, k 表示超参数,其余参数含义不变。使用上述构建得到的约束关系作为视频目标跟踪框架,最终构建一个目标跟踪算法。

2.3 视频目标跟踪

在上述多通道视频背景约束关系下,将视频图像划分为背景区域以及目标区域^[20],并使用相关滤波处理为两个卷积函数,可表示为:

$$y = x \otimes h, \quad (16)$$

其中: x 表示输入视频图像, h 表示相关滤波器参数, $\otimes$ 表示卷积处理。使用傅里叶变换转换视频目标的背景域,可表示为:

$$Y = X^* H^*, \quad (17)$$

其中: X^* 表示背景空域信号参数, H^* 表示滤波器频域的复共轭。为了精确匹配候选样本与背景区域^[21],采用最小输出参数,计算得到一个最佳滤波器参数,可表示为:

$$\min_{H^*} \sum_i |X_i H^* - Y_i|^2, \quad (18)$$

其中: X_i 、 Y_i 分别表示图像输入和输出参数,其余参数含义不变。在计算公式(18)的参数控制下,构建一个共轭闭合形式,输出一个闭合共轭跟踪参数,可表示为:

$$FH = \frac{\sum_i X_i Y_i}{\sum_i X_i X_i}, \quad (19)$$

其中: FH 表示计算得到的闭合共轭参数,其余参数含义不变。为了增加跟踪算法的精度,构建一个运动模型,实现对上述处理过程的迅速实现,可表示为:

$$\min_{CD} \sum_i |f(X_i) - Y_i|^2, \quad (20)$$

其中: $f(X_i)$ 表示构建的视频图像运动函数,其余参数含义不变。为了控制视频图像的过度拟合,导致视频目标出现错误跟踪的情况^[22-24],采用复数形式处理图像维度为一个闭合形式的解,可表示为:

$$R = (X^T + \kappa I), \quad (21)$$

其中: X^T 表示不同维度的图像输出参数, I 表示对应的视频目标, κ 为正则化参数。在重复处理过程或是复杂背景下,为了简化跟踪算法的计算量^[25],将式(21)形成的跟踪算法闭合解,处理为一个图像目标对角化形式,计算公式可表示为:

$$X' = FH \cdot d(X), \quad (22)$$

其中: $d(X)$ 表示像素的对角阵, X' 表示目标输出信息。在上述处理过程中引入一个循环处理矩阵,不断循环处理多通道中的视频目标,最终完成对跟踪算法的构建。

3 仿真实验与结果分析

为验证上述设计的基于特征约束与光流场模型的多通道视频目标跟踪算法的可行性,设计如下实验。

3.1 实验准备

实验准备 CPU 参数为 Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU@2.2 GHz 2.19 GHz 的计算机,控制该计算机的内存为 4 G,并使用 Visual Studio 2020 作为开发工具。随机选定 OTB 数据集集中的视频图像模拟多通道视频目标。选定 10 组视频序列作为实验对象,设定视频图像的帧数后,测量图像的分辨率,模拟视频图像存在的复杂背景,模拟得到的复杂背景如表 1 所示。

表 1 模拟得到的复杂背景

Tab.1 Complex backgrounds obtained from simulations

Image sequences	Frame rate	Resolution	Simulated complex environments
Tiger1	500	128×96	Shading, scale change
Girl1.1	307	352×288	Covering
David3.2	3872	384×288	Shading, scale change
Walking2.1	252	640×480	Shading, scale change
Singer0.4	140	320×240	Scale change, background clutter
Carscale	1336	640×480	Occlusion, scale change, light change, fast motion
Doll1.3	500	400×300	Shading, scale change, light change

续 表

Image sequences	Frame rate	Resolution	Simulated complex environments
Couple2.1	351	624×352	Shading, scale change, light change
Lemming1.2	252	640×272	Occlusion, deformation, background clutter
Jogging1.1	360	625×495	Occlusion, motion blur

使用表 1 模拟得到的复杂背景,算法代码使用 MATLAB2016a 软件编写,并承载两种传统跟踪算法与设计的跟踪算法运行,在固定图像中的各项参数后,设定图像尺度数值。

为避免实验结果的单一性,将文献[2]中基于自适应更新的目标跟踪算法、文献[4]中应用双相关滤波器的目标跟踪算法、文献[5]中应用快速多域卷积神经网络的目标跟踪算法、文献[8]中的基于改进 RT-MDNet 的目标跟踪算法、文献[10]中的基于地面估算与目标位置估计的多目标跟踪算法、文献[11]中的基于遮挡检测和多块位置信息的目标跟踪算法作为对比,与本文算法共同完成性能验证。

3.2 结果与分析

首先对本文算法的性能展开初步验证,利用其对 3 段视频图像中的目标进行跟踪,实验结果如图 2 所示。

在初步验证阶段,选用了低照度视频片段、快速移动视频片段和复杂背景的视频片段,利用本文算法对上述 3 段视频中的目标进行跟踪。根据图 2 所示结果可知,利用本文算法可以在不同场景、不同光照下完成对目标信息的有效跟踪,从而初步验证了本文算法的有效性。

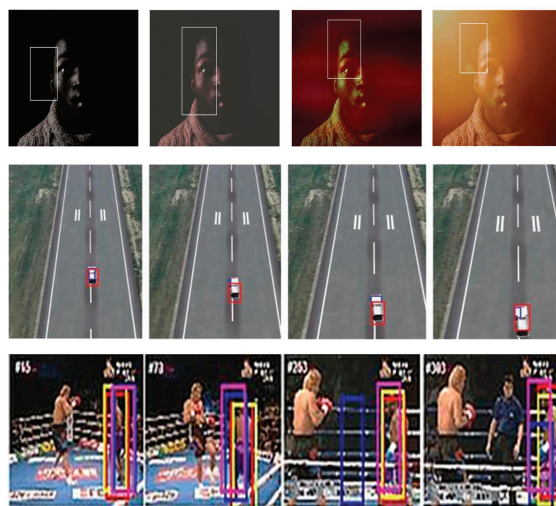


图 2 算法实际应用效果

Fig.2 Actual application effect of the algorithm

在此基础上,完成对比验证。首先定义跟踪算法的距离精确度,精确度计算过程可表示为:

$$DP = \mu \frac{\lambda}{K} \times n, \quad (23)$$

其中: μ 表示惩罚因子, λ 表示过拟合参数, K 表示图像分类参数大小, n 表示图像尺度池大小。在上述数值关系控制下,计算并统计 7 种跟踪算法的跟踪结果精确度,结果如表 2 所示。

表 2 跟踪算法精确度结果

Tab.2 Tracking algorithm accuracy results

Image sequences	Algorithm accuracy						This paper
	Reference [2]	Reference [4]	Reference [5]	Reference [8]	Reference [10]	Reference [11]	
Tiger1	0.69	0.78	0.85	0.80	0.61	0.72	0.94
Girl1.1	0.68	0.75	0.82	0.82	0.63	0.73	0.95
David3.2	0.66	0.74	0.83	0.83	0.62	0.74	0.97
Walking2.1	0.66	0.79	0.87	0.83	0.67	0.74	0.94
Singer0.4	0.67	0.78	0.90	0.83	0.68	0.78	0.93

续 表

Image sequences	Algorithm accuracy						This paper
	Reference [2]	Reference [4]	Reference [5]	Reference [8]	Reference [10]	Reference [11]	
Carscale	0.66	0.71	0.90	0.85	0.70	0.83	0.92
Doll1.3	0.67	0.79	0.87	0.87	0.72	0.85	0.94
Couple2.1	0.69	0.72	0.83	0.87	0.75	0.85	0.96
Lemming1.2	0.67	0.74	0.90	0.87	0.75	0.86	0.94
Jogging1.1	0.67	0.73	0.88	0.90	0.79	0.89	0.95

为更直观地体现不同算法的跟踪精确度,将表 2 中的数据以折线图的形式体现,如图 3 所示。

根据表 2、图 3 所示的实验结果可知,文献[2]中的跟踪算法的精度数值在 0.66~0.69 之间;文献[4]中的跟踪算法的精度数值在 0.71~0.79 之间;文献[5]中的跟踪算法的精度数值在

0.82~0.90 之间,与文献[8]算法的精确度较为接近;文献[10]中的跟踪算法的精确度数值在 0.61~0.79 之间;文献[11]中的跟踪算法的精确度数值在 0.72~0.89 之间;而本文算法的精确度始终保持在 0.90 以上,最高可达到 0.96。与几种对比算法相比,本文算法在跟踪精度方面的性能明显更好。

产生上述结果的原因在于本文算法通过设定视频随机变量控制光流场数值模型的变化,达到了控制偏差的目的,从根本上提高了目标跟踪精确度。

保持上述实验环境不变,若算法在跟踪过程自动变换处理函数,则表明跟踪算法成功跟踪了图像目标。基于此,统计成功追踪的视频图像,并计算 5 种追踪算法的成功率,可表示为:

$$s_u = \frac{N_0}{T_o} \times 100\%, \quad (24)$$

其中: s_u 表示成功追踪率, N_0 表示追踪过程中变换处理算法的图像, T_o 表示准备图像的数量。在上述计算公式控制下,统计不同算法的成功率,如表 3 所示。

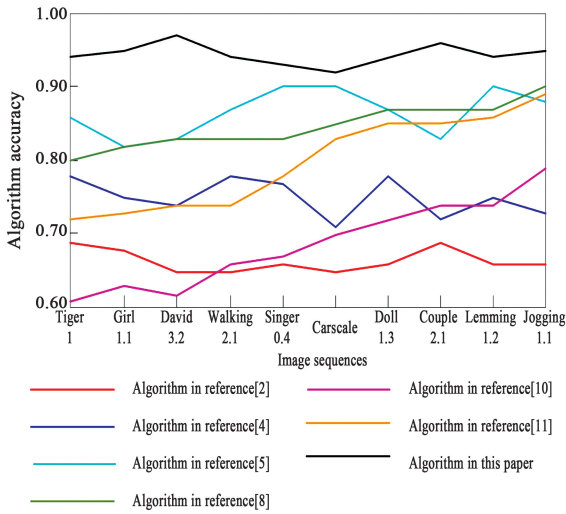


图 3 不同算法跟踪精确度对比

Fig.3 Comparison of tracking accuracy of different algorithms

表 3 追踪算法的成功率结果

Tab.3 Tracking algorithm accuracy results

Image sequences	Success rate/%						This paper
	Reference [2]	Reference [4]	Reference [5]	Reference [8]	Reference [10]	Reference [11]	
Tiger1	74.7	81.2	87.5	92.4	92.1	85.2	96.9
Girl1.1	73.6	80.3	86.5	91.7	93.2	85.7	97.9

续 表

Image sequences	Success rate/%						
	Reference [2]	Reference [4]	Reference [5]	Reference [8]	Reference [10]	Reference [11]	This paper
David3.2	70.2	83.9	86.4	90.4	94.0	87.4	97.3
Walking2.1	74.9	82.1	86.8	91.4	92.7	88.8	97.5
Singer0.4	74.5	82.1	87.6	90.5	92.5	90.8	97.3
Carscale	72.9	82.9	87.3	90.1	91.0	88.3	96.5
Doll1.3	70.8	81.5	86.6	91.9	92.4	89.5	96.4
Couple2.1	70.7	83.7	86.6	90.2	91.8	87.7	97.2
Lemming1.2	74.2	83.7	87.8	90.8	91.7	85.9	96.3
Jogging1.1	73.5	82.4	89.1	92.8	91.6	86.6	97.4

为更直观地体现不同算法的追踪成功率,将表 3 中的数据以折线图的形式体现,如图 4 所示。

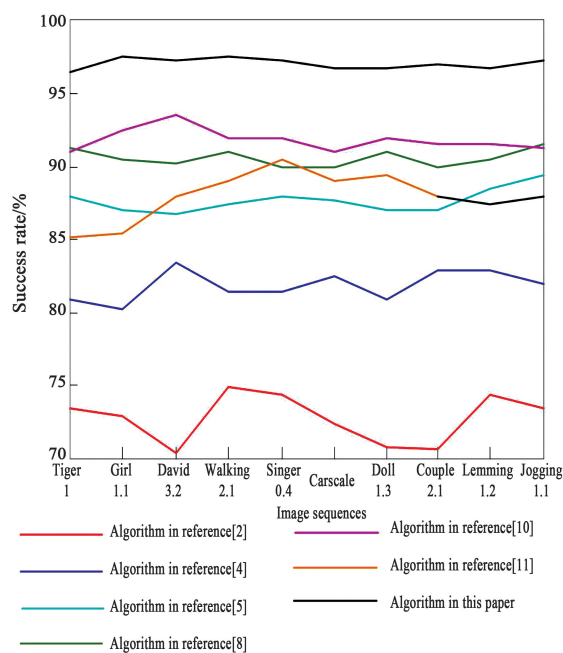


图 4 不同算法的追踪成功率

Fig.4 Tracking success rate of different algorithms

根据表 3、图 4 所示的实验结果可知,文献 [2]中的跟踪算法成功率在 70%~75%之间;文献[4]中的跟踪算法成功率在 80%~85%之间;文献[5]中的跟踪算法跟踪成功率在 85%~90%之间,与文献[11]算法的跟踪成功率较为接近;文献[8]中的追踪算法成功追踪率在 90%上下;文献[10]中的追踪算法成功追踪率在 90%~95%

之间;而本文算法的成功追踪率始终处于 96%以上。与另外 6 种文献算法相比,本文算法可成功追踪的视频目标更多。

本文算法利用激活函数将多通道参数数值映射处理为固定参数,构建多通道特征约束关系控制特征参数发生升维,减少数据计算维数,从而提高了成功追踪率。

在上述实验环境下,引入剪裁矩阵计算视频目标的边界参数,并使用该边界参数构建一个复杂度数值关系,计算过程可表示为:

$$C_o = \kappa \frac{F}{b}, \quad (25)$$

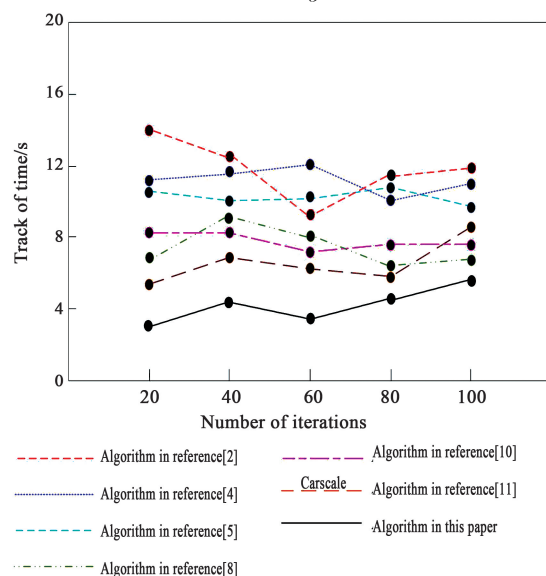


图 5 跟踪算法时间复杂度结果

Fig.5 Tracking algorithm time complexity results

其中: κ 表示边界参数, F 表示标定图像中的视频帧总数, b 表示追踪时间响应参数。在不同算法的控制下,其跟踪时间复杂度结果如图 5 所示。

使用上述复杂度公式,计算 7 种跟踪算法的时间复杂度。根据图 5 所示的实验结果可知,相比于其他 6 种跟踪算法,本文算法的时间复杂度更低,其跟踪过程耗时最多仅需 5.5 s,始终少于其他 6 种跟踪算法,证明其实际产生的计算量更少。

本文算法通过归一化处理获得多通道视频特征,将多维度的特征经过全局池化处理映射为一个参数数值,实现特征约束,从而有效减少目标跟踪计算量,也就减少了跟踪过程的时间复杂度。

4 结 论

视频目标跟踪算法不断地发展,运用特征约束与光流场模型构建跟踪算法逐渐成为研究重点。本研究基于特征约束与光流场模型设计了一种多通道视频目标跟踪算法。该算法通过设定视频随机变量控制光流场数值模型的变化,然后提取出多通道视频的归一化特征,通过全局池化处理方式解决传统方法多维度特征计算繁杂的问题,有效减少了目标跟踪计算量,从而优化了算法的应用效果。实验结果表明,本文算法能够有效改善传统算法的不足,为目标跟踪工作的发展提供支持。

参 考 文 献:

- [1] 胡正平,尹艳华,顾健新.位置-尺度异空间协调的多特征选择相关滤波目标跟踪算法[J].信号处理,2019,35(12): 1979-1989.
HU Z P, YIN Y H, GU J X. Multi-feature selection correlated filtering target tracking algorithms based on location-scale different space coordination [J]. *Journal of Signal Processing*, 2019, 35(12): 1979-1989. (in Chinese)
- [2] 刘威,靳宝,周璇,等.基于特征融合及自适应模型更新的相关滤波目标跟踪算法[J].智能系统学报,2020,15(4): 714-721.
LIU W, JIN B, ZHOU X, *et al.* Correlation filter target tracking algorithm based on feature fusion and adaptive model updating [J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2020, 15(4): 714-721. (in Chinese)
- [3] 欧伟奇,尹辉,许宏丽,等.一种基于 Multi-Egocentric 视频运动轨迹重建的多目标跟踪算法[J].智能系统学报,2019,14(2):246-253.
OU W Q, YIN H, XU H L, *et al.* A multi-object tracking algorithm based on trajectory reconstruction on multi-egocentric video [J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2019, 14(2): 246-253. (in Chinese)
- [4] 韩晓微,王雨薇,谢英红,等.基于双相关滤波器的多通道尺度自适应目标跟踪[J].仪器仪表学报,2019,40(11): 73-81.
HAN X W, WANG Y W, XIE Y H, *et al.* Multi-channel scale adaptive target tracking based on double correlation filter [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2019, 40(11): 73-81. (in Chinese)
- [5] 张晓丽,张龙信,肖满生,等.快速多域卷积神经网络和光流法融合的目标跟踪[J].计算机工程与科学,2020,42(12):2217-2222.
ZHANG X L, ZHANG L X, XIAO M S, *et al.* Target tracking by deep fusion of fast multi-domain convolutional neural network and optical flow method [J]. *Computer Engineering and Science*, 2020, 42(12): 2217-2222. (in Chinese)
- [6] 王殿伟,许春香,刘颖.基于多特征融合的核相关滤波目标跟踪算法[J].计算机工程与设计,2019,40(12): 3463-3468.
WANG D W, XU C X, LIU Y. Kernelized correlation filter for target tracking with multi-feature fusion [J]. *Computer Engineering and Design*, 2019, 40(12): 3463-3468. (in Chinese)
- [7] 孙彦景,石韫开,云霄,等.基于多层卷积特征的自适应决策融合目标跟踪算法[J].电子与信息学报,2019,41(10): 2464-2470.
SUN Y J, SHI Y K, YUN X, *et al.* Adaptive strategy fusion target tracking based on multi-layer convolutional fea-

- tures [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2019, 41(10): 2464-2470. (in Chinese)
- [8] 王殿伟,方浩宇,刘颖,等.一种基于改进 RT-MDNet 的全景视频目标跟踪算法[J].哈尔滨工业大学学报,2020,52(10):152-160,174.
WANG D W, FANG H Y, LIU Y, *et al.* Improved RT-MDNet for panoramic video target tracking [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2020, 52(10): 152-160, 174. (in Chinese)
- [9] 刘芳,王洪娟,黄光伟,等.基于自适应深度网络的无人机目标跟踪算法[J].航空学报,2019,40(3):322332.
LIU F, WANG H J, HUANG G W, *et al.* UAV target tracking algorithm based on adaptive depth network [J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2019, 40(3): 322332. (in Chinese)
- [10] 何嘉,奚峥皓,阚秀.基于地面估算与目标位置估计的多目标跟踪算法[J].电子技术应用,2020,46(8):112-116.
HE J, XI Z H, KAN X. Multi-target tracking algorithm based on ground projection and target position estimation [J]. *Application of Electronic Technique*, 2020, 46(8): 112-116. (in Chinese)
- [11] 储琚,危振,缪君,等.基于遮挡检测和多块位置信息融合的分块目标跟踪算法[J].模式识别与人工智能,2020,33(1):59-65.
CHU J, WEI Z, MIAO J, *et al.* Block target tracking based on occlusion detection and multi-block position information fusion [J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2020, 33(1): 59-65. (in Chinese)
- [12] 刘晓悦,王云明.基于 HOG-SVM 的改进跟踪-学习-检测算法的目标跟踪方法[J].科学技术与工程,2019,19(27):266-271.
LIU X Y, WANG Y M. Improved tracking-learning-detection target tracking method based on HOG-SVM [J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(27): 266-271. (in Chinese)
- [13] 宋建锋,苗启广,申猛,等.多特征融合的相关滤波红外单目标跟踪算法[J].西安电子科技大学学报,2019,46(5):142-147.
SONG J F, MIAO Q G, SHEN M, *et al.* Algorithm for tracking an infrared single target based on correlation filtering with multi-feature fusion [J]. *Journal of Xidian University*, 2019, 46(5): 142-147. (in Chinese)
- [14] 王译莹,吴小俊.基于深度特征与局部约束掩膜的相关滤波跟踪算法[J].数据采集与处理,2019,34(5):808-818.
WANG Y X, WU X J. Correlation filter tracking algorithm based on deep features with local constrained mask [J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2019, 34(5): 808-818. (in Chinese)
- [15] 黄树成,张瑜,张天柱,等.基于条件随机场的深度相关滤波目标跟踪算法[J].软件学报,2019,30(4):927-940.
HUANG S C, ZHANG Y, ZHANG T Z, *et al.* Improved deep correlation filters via conditional random field [J]. *Journal of Software*, 2019, 30(4): 927-940. (in Chinese)
- [16] 江南.基于动态自适应相关滤波的复杂场景目标跟踪算法[J].电子测量与仪器学报,2019,33(2):140-147.
JIANG N. Visual target tracking algorithm based on dynamic adaptive filtering [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2019, 33(2): 140-147. (in Chinese)
- [17] 刘波,许廷发,李相民,等.自适应上下文感知相关滤波跟踪[J].中国光学,2019,12(2):265-273.
LIU B, XU T F, LI X M, *et al.* Adaptive context-aware correlation filter tracking [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(2): 265-273. (in Chinese)
- [18] 宋俊芳,王菽裕,薛茹,等.基于数据关联融合 KCF 与 Kalman 滤波的车辆多目标跟踪[J].科学技术与工程,2020,20(31):12927-12933.
SONG J F, WANG S Y, XUE R, *et al.* Multi-vehicle tracking combining KCF and Kalman based on data association [J]. *Science Technology and Engineering*, 2020, 20(31): 12927-12933. (in Chinese)
- [19] 张博言,钟勇,李振东.基于动态模式和卷积特征的单目标跟踪算法[J].西北工业大学学报,2019,37(6):1310-1319.
ZHANG B Y, ZHONG Y, LI Z D. A visual object tracking algorithm based on dynamics pattern and convolutional feature [J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2019, 37(6): 1310-1319. (in Chinese)
- [20] 张能波,苏振斌,谢维信.Lasso 约束下融和光流信息的 DCF 目标跟踪算法[J].信号处理,2019,35(5):911-918.
ZHANG N B, SU Z B, XIE W X. DCF visual object tracking algorithm with lasso constraints and fusion optical flow [J]. *Journal of Signal Processing*, 2019, 35(5): 911-918. (in Chinese)
- [21] 茅正冲,陈海东.基于核相关滤波的长期目标跟踪算法[J].激光与光电子学进展,2019,56(1):010702.

- MAO Z C, CHEN H D. Long-term object tracking algorithm based on kernelized correlation filter [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(1): 010702. (in Chinese)
- [22] 吴言枫,王延杰,孙海江,等.复杂杂背景下的“低小慢”目标检测技术[J].中国光学,2019,12(4):854-866.
WU Y F, WANG Y J, SUN H J, *et al.* LSS-target detection in complex sky backgrounds [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(4): 854-866. (in Chinese)
- [23] 郭利,周盛宗.基于通道权重融合特征的目标跟踪算法[J].计算机系统应用,2020,29(12):178-186.
GUO L, ZHOU S Z. Object tracking algorithm with fusion feature based on channel weight [J]. *Computer Systems & Applications*, 2020, 29(12): 178-186. (in Chinese)
- [24] 姜可孟,曾聪文,江泽涛.基于光照不变特征的无模式跟踪算法[J].计算机工程与设计,2019,40(1):161-166.
MENG K M, ZENG C W, JIANG Z T. Model-free tracking algorithm based on illumination invariant features [J]. *Computer Engineering and Design*, 2019, 40(1): 161-166. (in Chinese)
- [25] 张玲,田鹏,王溢,等.基于多空间显著特征的目标跟踪算法[J].计算机技术与发展,2019,29(11):71-76.
ZHANG L, TIAN P, WANG Y, *et al.* Object tracking algorithm based on discriminative feature in multiple sub-spaces [J]. *Computer Technology and Development*, 2019, 29(11): 71-76. (in Chinese)

作者简介:



张 博(1980—),男,湖南长沙人,硕士,高级实验师,2009 年于湖南师范大学获得硕士学位,主要从事智能感知与控制、目标检测与跟踪方面的研究。E-mail: zb801121@126. com