

基于实时递推最小二乘的多目标编批研究

姜鑫¹ 陈武雄² 朱明¹ 郝志成¹ 高文¹

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033; 2.重庆嘉陵华光光电科技有限公司 重庆 400700)

摘要:针对多目标检测与跟踪任务,提出了基于实时递推最小二乘的多目标编批方法,采用轨迹预测的方式解决了目标遮挡、目标交叉等多目标相互干扰问题,并综合考虑了空间距离、长度近似度、宽度近似度以及区域框交并比等多方面因素来实现目标检测值与已存在目标队列间的数据关联。实验结果表明,该方法可以在目标机动的情况下,实时快速地实现目标编号建立、编号维持以及编号销毁,并能够同时对多个感兴趣目标的运动轨迹进行记录和维持,具有运算简单、易于工程实现等特点。

关键词:编批;数据关联;最小二乘;显著性检测

中图分类号: TP29 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Research on multi-target serial-number based on least square principle in real-time recursively

Jiang Xin¹ Chen Wuxiong² Zhu Ming¹ Hao Zhicheng¹ Gao Wen¹

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2.Chongqing Jialing Huaguan Photoelectric Technology CO.LTD, Chongqing 400700, China)

Abstract: For multi-target detection and tracking tasks, this paper proposes a multi-target serial-number method based on least square principle in real-time recursively. In this method, trajectory prediction is used to solve the problem of multi-target mutual interference, such as target occlusion, target crossover and so on. The data association between the target detection value and the existing target queue is achieved by taking into account multiple factors such as space distance, length approximation, width approximation and area frame intersection over union. The experimental results show that method can realize the establishment, maintenance and destruction of the target number in real-time when the target is maneuvering. It can record and maintain the trajectory of multiple interested objects simultaneously. It has the characteristics of simple operation and engineering implementation easily.

Keywords: serial-number; data association; least square; saliency detection

0 引言

多目标检测与跟踪的主要任务是在给定的视频图像序列中同时对多个感兴趣目标进行检测,连续提供目标位置信息,记录并维持每个目标的运动轨迹^[1]。

多目标编批是实现多目标检测与跟踪的重要环节^[2]。当一个新目标被检测到并判定为有效目标(如噪声等虚假信号即为非有效目标)后,检测与跟踪系统应自动建立一个新的编号分配给该目标,且新编号与当前系统中已经存在的目标编号不能重复。之后,在该目标的一个生命周期内,无论发生何种变化,如目标被其他目标遮挡、个别帧内

漏检目标、目标与其他目标发生交叉运动等,系统应始终保证对该目标的编号不变。只有当连续多帧检测不到该目标,证明目标彻底从视野中消失后,系统才对该目标的编号进行销毁^[3]。

针对上述问题,本文提出了一种基于实时递推最小二乘的多目标编批方法,该方法不仅能够快速自动地完成对目标的检测,还能够同时对多目标数据进行自动编号,进而实现了对目标的精确跟踪。

1 多目标编批流程

多目标编批流程中,编号建立与编号销毁的判别准则

收稿日期:2019-08-02

是编号维持的前提^[4]。本文建立了一个目标队列来管理所有目标^[5],且每个队列都被赋予一个生命状态,分别为 new、active 和 candidate。首先判断当前帧各个目标检测值是否与已存在目标队列关联成功,如果未关联成功,则该目标可能是虚假目标,也可能是新出现的目标,于是对该目标建立暂时航迹,即创建一个 new 队列但不为其分配编号,如果该 new 队列连续三帧都与后续目标检测值关联成功,则认为出现了一个新目标,该目标的航迹即被确立,队列状态转为 active,并对其分配一个新的编号;否则,认为是随机噪声等虚假目标,对已创建的 new 队列进行销毁。

在已经确立航迹的 active 队列中,如果当前帧没有与目标检测值关联成功,那么该目标可能消失,也可能在当前帧内漏检测目标,所以在下一帧及后续帧中继续判别该目标队列是否与目标检测值关联成功,此时将目标队列的状态转为 candidate。如果目标队列连续五十帧都未与目标检测值关联成功,则认为该目标航迹消亡,对该目标的航迹维持取消,并将该 candidate 队列和相应编号进行销毁;否则,将该目标队列的状态重新设定为 active,并继续维持或重新分配该目标队列的编号。同时,每一帧结束后都要更新已存在目标队列的状态和信息。多目标编批的算法流程如图 1 所示。

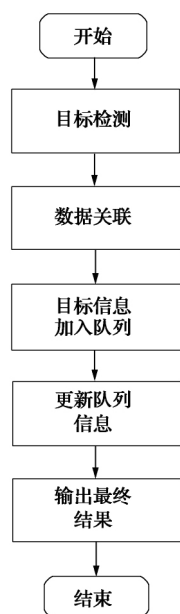


图 1 多目标编批流程

2 多目标编批算法详解

2.1 目标检测

通过对当前帧图像进行实时目标检测,得到有效目标信息集合,主要包括目标的空间位置信息(如目标检测区域框的中心点坐标)和形状信息(如目标检测区域框的长度和宽度)等^[6-7]。本文利用显著性检测、双阈值分割和区

域生长的方法来实现对多目标的有效检测。

1) LC 显著性检测

LC 显著性检测算法由 Zhai 等^[8]在 2006 年的视频显著性检测中提出,指出当观众看到视频序列时,观众不仅会被有趣的事件吸引,有时还会被静止图像中的有趣物体吸引,这就是空间注意力。在心理学研究的基础上,人的感知系统对视觉信息之间的对比更敏感,如颜色、强度和质地。以这一假设为基础,他们提出了一种利用图像颜色统计计算空间显著性图的有效方法,该方法的设计考虑了图像像素数目的线性计算复杂度,图像的显著性映射建立在图像像素之间的灰度对比度上,即为该像素与图中所有像素在灰度值上的距离之和作为该像素的显著性值,在数学上可表示如下。

将图像 I 中像素 I_k 的显著性定义为:

$$SalS(I_k) = \sum_{I_i \in I} |I_k - I_i| \quad (1)$$

式中: I_i 的值在 $(0, 255)$ 范围内; $| \cdot |$ 表示灰度距离度量。

将该方程展开为以下形式:

$$SalS(I_k) = |I_k - I_1| + |I_k - I_2| + \dots + |I_k - I_N| \quad (2)$$

即图中一个像素的显著性定义为该像素的灰度值与全图所有像素的灰度值差值的和。

将显著性值计算结果归一化后,将得到原始图像对应的灰度光斑图,图中每个像素点的灰度值大小表示该点属于显著性目标的概率。

2) 双阈值分割

LC 显著性检测后,图像中的每个像素点都具有明确的显著性值。然而,仍然存在由于噪声和颜色变化引起的一些虚假显著性像素点。为了消除这些杂散响应,本文考虑利用双阈值分割来确定真实的显著性目标^[9]。

如果像素点显著性值大于预先设定的高阈值时,认为该点为强显著性点;如果像素点显著性值介于高阈值和低阈值之间时,则认为该点为弱显著性点,作为候选点,等待进一步的处理;如果像素点显著性值小于低阈值时,认为该点为非显著性点。阈值的选择取决于输入图像的内容。

3) 区域生长

区域生长是根据事先定义的准则将像素或者子区域聚合成更大区域的过程^[10]。其基本思想是从一组生长点开始(生长点可以是单个像素,也可以是某个小区域),将与该生长点性质相似的相邻像素或者区域与生长点合并,形成新的生长点,重复此过程直到不能生长为止。生长点和相似区域的相似性判断依据可以是灰度值、纹理、颜色等图像信息^[11]。本文的区域生长具体步骤如下:

(1) 扫描整幅图像,找到第一个还没有归属的强显著性像素点,记为 (x_0, y_0) ;

(2) 以 (x_0, y_0) 为中心,考虑 (x_0, y_0) 的 8 邻域像素 (x, y) ,若 (x, y) 为强显著性像素点或弱显著性像素点,则将 (x, y) 与 (x_0, y_0) 合并,同时将 (x, y) 压入堆栈;

- (3) 从堆栈中取出一个像素点,将其视为 (x_0, y_0) 返回步骤(2);
- (4) 当堆栈为空时,返回步骤(1);
- (5) 重复步骤(1)~(4),直到图像中所有的强显著性

像素点都有归属,生长结束。

区域生长结束后,将已生长的区域和未生长的区域进行二值化处理,即可得到最终的二值化图像,如图2所示。最后,将每个目标的最小外接矩形框结果信息进行输出。

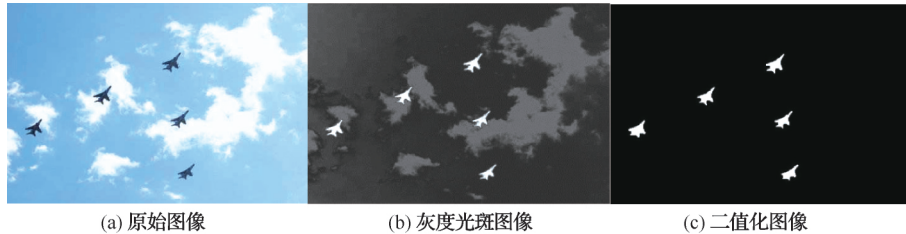


图2 目标检测示意图

2.2 数据关联

数据关联是多目标编批问题的核心环节,依次将当前帧的检测数据与已存在的目标队列进行匹配,依据匹配结果对目标队列的信息不断更新。数据关联算法的优劣性对多目标编批的效果有着至关重要的影响^[3]。本文设计的数据关联算法流程如图3所示。

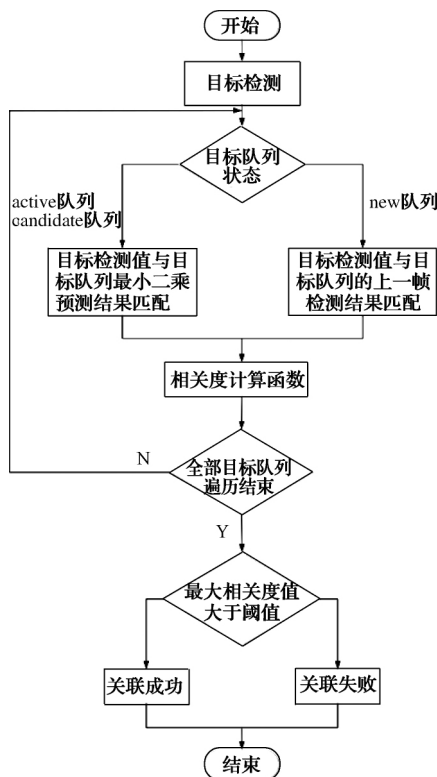


图3 数据关联流程

当有效目标集合中的目标检测值与 new 队列进行匹配时,因 new 队列没有确立航迹,所以将目标检测值与目标队列的上一帧检测结果进行匹配;当有效目标集合中的目标检测值与 active 队列或 candidate 队列进行匹配时,因 active 队列和 candidate 队列均已确立航迹,所以将目标检测值与目标队列的实时递推最小二乘结果进行匹配,

解决由于目标机动等因素造成的跟踪延迟等问题。

最小二乘法是一种数字优化技术,它通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配^[12]。目前,最小二乘曲线拟合已成为工程中常用的一种目标轨迹预测方法^[13-15]。在多目标检测与跟踪系统中,确立机动目标的运动模型是一个关键问题^[16]。在实际工程应用中,通常用二次或低次函数来对目标的运动或参数变化进行描述^[17]。因此,当目标轨迹被确立后,可以运用最小二乘平方预测器计算得到一组参数,来对目标后续的运动轨迹进行预测。但随着时间的增长,目标的运动轨迹可能会发生改变,例如目标转弯、目标逆行等,即目标实际轨迹可能会与初始参数下的目标预测轨迹发生较大偏差。因此,本文考虑采用参数实时更新的方式^[18],利用当前帧及前 N 帧的目标运动数据来计算得到最小二乘平方预测器的参数,进而对目标下一帧的轨迹进行预测,以确保预测轨迹对目标实际轨迹的最佳逼近,其中 N 的大小取决于实际需求。

本文采用空间距离、长度近似度、宽度近似度、区域框交并比等多方面因素,综合计算目标检测值与目标队列的相关度。其中,空间距离计算公式如下:

$$D_{corr} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3)$$

式中: x_1 和 x_2 分别表示目标检测值中心点的横纵坐标值; y_1 和 y_2 分别表示目标队列上一帧检测结果中心点或最小二乘预测结果中心点的横纵坐标值。长度近似度计算公式如下:

$$L_{corr} = \frac{|L_1 - L_2|}{|L_1 + L_2|} \quad (4)$$

式中: L_1 表示目标检测值的长度; L_2 表示目标队列上一帧检测结果或最小二乘预测结果的长度。类似地,宽度近似度计算公式如下:

$$W_{corr} = \frac{|W_1 - W_2|}{|W_1 + W_2|} \quad (5)$$

式中: W_1 表示目标检测值的宽度; W_2 表示目标队列上一帧检测结果或最小二乘预测结果的宽度。区域框交并比是目标检测中经常使用的一个概念,是指产生的候选框与

原标记框的交叠率,即它们的交集与并集的比值,最理想情况是完全重叠,即比值为1。交并比计算公式如下:

$$IoU = \frac{area(C) \cap area(G)}{area(C) \cup area(G)} \quad (6)$$

本文中 $area(C)$ 表示目标检测值的区域框, $area(G)$ 表示目标队列上一帧检测结果或最小二乘预测结果的区域框,如图4所示。

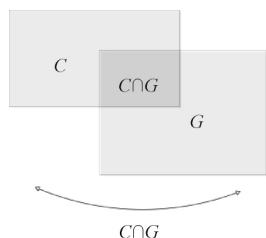


图4 区域框交并比示意图

最终,目标检测值与目标队列的综合匹配度计算公式如下:

$$Corr = 1 - a \cdot W_{corr} - b \cdot D_{corr} - c \cdot L_{corr} + d \cdot IoU \quad (7)$$

式中: a 、 b 、 c 和 d 表示对每项因素分别赋予的不同权重。权重大小可根据实际工程需求进行调节。

计算过程中,依次将每个目标检测值与目标队列进行匹配,并找出最大的相关度计算结果。当最大相关度值大于预先设定的阈值时,关联成功;否则,关联失败。

2.3 目标信息加入队列

数据关联后,将目标信息加入到已关联的目标队列中,流程如图5所示。

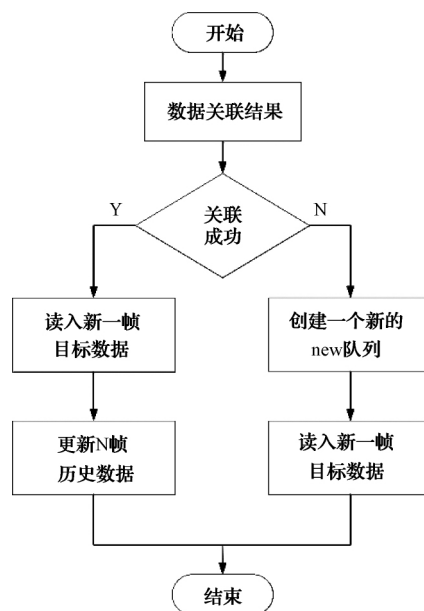


图5 目标信息加入队列流程

若当前队列与目标检测值关联成功,则将该目标检测值的相关信息加入到当前队列中,并更新之前 N 帧历史数据, N 的大小取决于实际工程应用中存储空间的大小。若没有队列与目标检测值关联成功,则创建一个新的 new 队列,并将观测值信息加入到该 new 队列中。

2.4 更新队列信息

每帧结束后,都需要更新已有目标队列的相关信息,不同状态的队列有不同的更新方法,具体流程如图6所示。

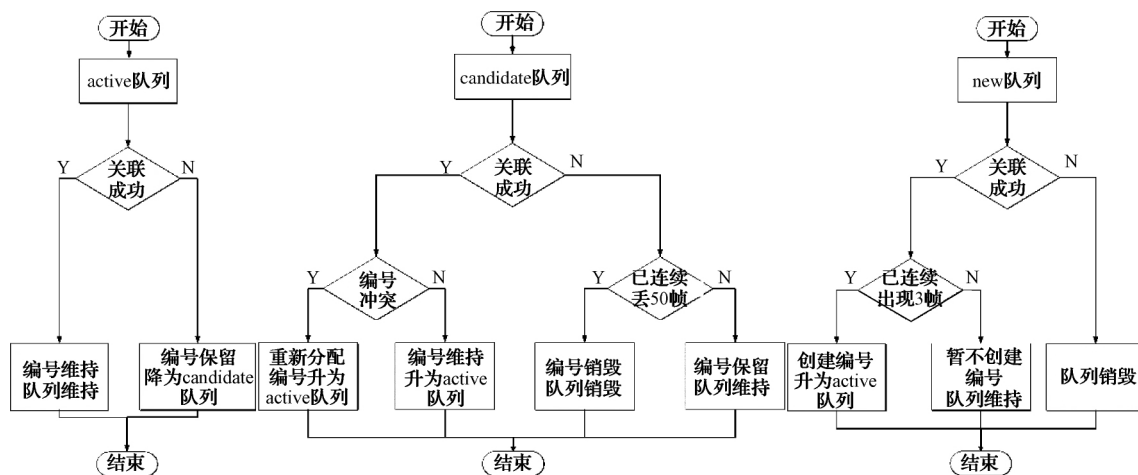


图6 更新队列信息流程

对于 $active$ 队列,如果关联成功,则继续维持该队列和编号;如果关联失败,则将该目标队列的状态转为 $candidate$,保留已分配的编号。

对于 $candidate$ 队列,如果关联成功,首先判断该 can

$didate$ 队列中保留的编号是否与当前已关联成功 $active$ 队列中的编号冲突,如果发生冲突,需为其重新分配编号,并将队列状态转为 $active$;如果未发生冲突,则维持该编号,并将队列状态转为 $active$ 。如果关联失败,需继续判断

该目标队列是否连续 50 帧都未与目标检测值匹配成功,如连续 50 帧都未匹配成功,则销毁该队列和已保留的编号,否则继续维持该队列并保留编号。

对于 new 队列,如果关联成功,需判断该队列是否连续 3 帧都与目标检测值匹配成功,如已经连续匹配 3 帧,则认为出现了一个新目标,将队列状态转为 active,并为其分配新的编号;否则,继续维持该队列,暂不为其分配编号。如果关联失败,则对已创建的 new 队列进行销毁。

实际工程应用系统中往往只有固定数目的编号可供使用,因此在分配编号时,优先为目标队列分配当前 active 队列和 new 队列中未使用的编号;若可用编号数目不够,再为目标队列分配 active 队列中未使用的编号。

2.5 输出最终结果

最终,输出 active 队列中的有效目标的空间位置信

息、形状信息和编号信息,供后端进行处理和显示。

3 仿真实验

为了验证本文所提出多目标编批方法的性能及其工程应用价值,通过计算机软件生成了不同条件下的视频图像序列,图像序列中包含了目标静止、目标机动、多目标交叉、多目标集中、多目标分离等多种目标运动航路,从而对编批效果进行了充分的验证。

为了演示编批算法的效果,对视频图像序列的第 55 帧,第 75 帧,第 115 帧,第 155 帧,第 205 帧和第 285 帧视频图像进行了采集,红色检测框表示进行显著性检测后相关目标的最小外接矩形,红色框下方的数字表示经过多目标编批算法处理后的目标框编号,如图 7 所示。

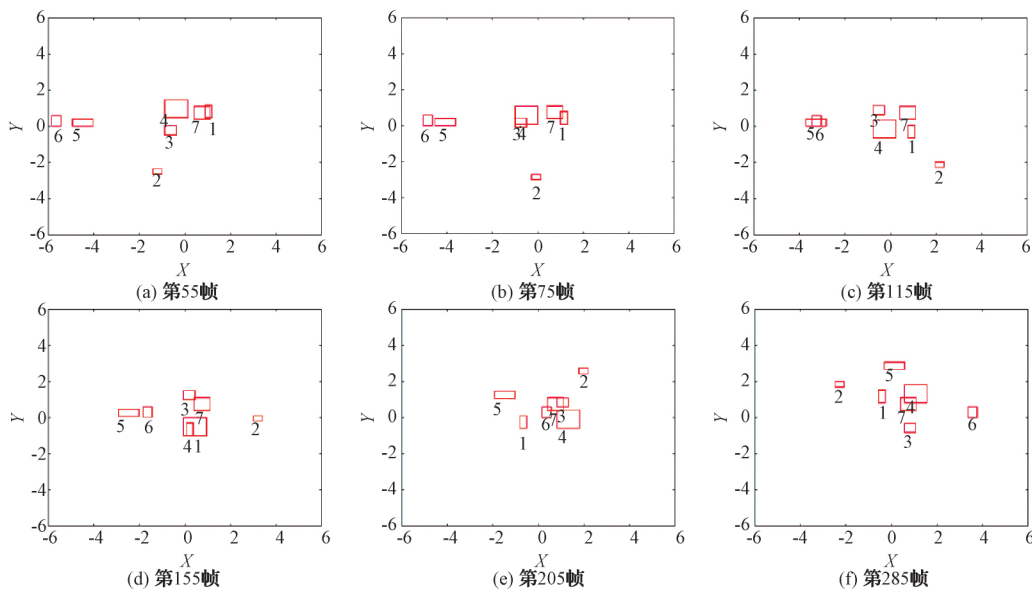


图 7 视频图像序列

图 7 中 7 号目标一直保持静止,被分配编号后编号信息从始至终未发生改变。6 号目标对 5 号目标进行追逐,在第 115 帧两个目标发生相交,从图像可以看出目标分离后,编号为 5 的目标编号仍然为 5,编号为 6 的目标编号仍然为 6,对两个目标的编号维持成功。同时,5 号目标开始一直沿着 X 轴方向做直线运动,第 205 帧开始做偏离 X 轴方向做斜线运动,运动轨迹发生改变后编号维持成功。在第 75 帧,3 号目标与 4 号目标发生相交,1 号和 7 号目标发生相交;在第 155 帧,1 号目标与 4 号目标相交;在第 205 帧,3 号目标、4 号目标、6 号目标和 7 号目标发生相交,从图 7 中可以看出,多目标相交分离后,各自目标的编号都维持成功,没有发生改变,这也证明了编批算法的有效性。

4 结论

为了更好的实现多目标检测与跟踪任务,本文提出了一种基于实时递推最小二乘的多目标编批方法。该方法通过轨迹预测的方式解决了多目标间的相互干扰问题,并综合考虑了空间距离、长度近似度、宽度近似度以及区域框交并比等多方面因素来实现目标检测值与已存在目标队列间的数据关联。仿真结果表明该方法可以在目标机动的情况下,实时快速地实现目标编号建立、编号维持以及编号销毁,由此证明了该算法的有效性。同时,目前该算法仅通过 MATLAB 软件编程实现,算法还有待进一步固化到其他硬件平台中以实现工程中的应用,例如,基于 6000 系列的数字信号处理器可以实现更快的处理速度和更好的应用价值。

参考文献

- [1] 刘刚,刘明.多目标跟踪方法综述[J].电光与控制,2004,11(3):26-29.
- [2] 王明佳.光学测量设备实时多目标编批的研究[D].北京:中国科学院,2006.
- [3] 王延杰.利用图像的边缘信息进行多目标编批数据的统计[J].光学精密工程,1994,2(5):53-58.
- [4] 毛明秀.雷达多目标自动编批研究[D].南京:南京理工大学,2007.
- [5] 李晴,赵丹培,姜志国.多点目标编批跟踪的研究与实现[C].第六届全国信号与信息处理联合学术会议,2017:225-228.
- [6] 秦武旻,朱长婕.虹膜快速检测与精确定位的算法研究[J].国外电子测量技术,2017,36(4):25-28.
- [7] 李忠虎,张琳,闫俊红.管道腐蚀视觉测量图像边缘检测算法研究[J].电子测量与仪器学报,2017,31(11):1788-1795.
- [8] ZHAI Y, SHAH M. Visual attention detection in video sequences using spatiotemporal cues[C]. Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimedia, 2006:1-9.
- [9] 王延年,赵郎月,刘会敏.一种精确的虹膜定位方法[J].国外电子测量技术,2017,36(11):34-37.
- [10] 李云红,魏妮娜,张晓丹.基于多方向 Gabor 滤波器的图像分割[J].国外电子测量技术,2017,36(3):20-23.
- [11] 苑玮琦,朱立军,张波.基于形态学与支持向量机的虹膜坑洞纹理检测[J].仪器仪表学报,2017,38(3):664-671.
- [12] 强明辉,张京娥.基于 MATLAB 的递推最小二乘辨识与仿真[J].自动化与仪器仪表,2008(6):4-5,39.
- [13] 王波涛,闫跃,赵轩.基于最小二乘的鱼眼镜头轮廓提取算法[J].国外电子测量技术,2015,34(4):31-35.
- [14] 张起贵,张魁.基于最小二乘直线拟合的小目标检测[J].电子设计工程,2010,18(7):176-177.
- [15] 袁伍威,华翔,雷斌.多移动监测站定位目标的研究[J].国外电子测量技术,2017,36(10):77-80.
- [16] 徐瑜,杨绍清,孙牧.最小二乘滤波在目标跟踪中的应用[J].指挥控制与仿真,2007,29(4):41-42.
- [17] 秦暄,章毓晋.一种基于曲线拟合预测的红外目标的跟踪算法[J].红外技术,2003,25(4):23-25.
- [18] 周珊珊,柴金广,李丹.实时递推的最小二乘预测跟踪算法[J].电子设计工程,2011,19(10):53-55.

作者简介

姜鑫(通信作者),研究实习员,主要研究方向为目标检测与识别技术等。

E-mail: xinjiang@zju.edu.cn

陈武雄,工程师,重庆嘉陵华光光电科技有限公司总经理。

E-mail: cqjhgdgs@163.com

朱明,研究员,主要研究方向为视频图像处理,自动目标识别技术及成像目标跟踪等。

E-mail: zhu_mingca@163.com

郝志成,研究员,主要研究方向为信号检测、数字图像处理、模式识别等。

E-mail: Hzc972513@sina.com

高文,副研究员,主要研究方向为视频图像跟踪、目标识别等。

E-mail: cwenzi@126.com