

基于 Snake 模型的波门自适应跟踪算法

崔 灿¹, 张国华¹, 李保中²

(1. 光电控制技术重点实验室, 河南 洛阳 471009; 2. 中国人民解放军驻 613 所军事代表室, 河南 洛阳 471009)

摘要: 介绍了波门跟踪的原理以及波门自适应性的需求, 结合主动轮廓模型中的 GVF Snake 模型和自适应分析质心跟踪算法, 提出了基于 Snake 模型的波门自适应跟踪算法, 根据 Snake 模型的收敛轮廓来确定波门位置和大小, 由波门内背景像素点所占的比例来决定是否更新波门。通过实验仿真, 该算法能够自适应地改变波门的大小, 很好地跟踪目标。

关键词: 自动跟踪; 主动轮廓模型; GVF Snake; 波门自适应; 质心跟踪算法

中图分类号: V271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)01-0078-04

Adaptive Wave-Gate Tracking Algorithm Based on Snake Model

CUI Can¹, ZHANG Guo-hua¹, LI Bao-zhong²

(1. Science and Technology on Electro-Optic Control Laboratory, Luoyang 471009, China;

2. Deputy office of PLA in No. 613 Institute, Luoyang 471009, China)

Abstract: The principle of wave-gate tracking and the demand of adaptive wave-gate were introduced. The adaptive wave-gate tracking algorithm based on the Snake model was proposed according to the GVF Snake model in the active contour models and adaptive centroid tracking algorithm. Then the position and size of the wave-gate were ascertained on the basis of the convergence contour of the Snake model and the updating of the wave-gate was determined by the proportion of the background pixels in it. The experiment and simulation show that the algorithm can change the size of the wave-gate adaptively and track the target well.

Key words: automatic tracking; active contour model; GVF Snake; adaptive wave-gate; centroid tracking algorithm

0 引言

运动目标的自动跟踪技术^[1-2]作为机器视觉中的核心技术, 是一项融合人工智能、图像处理、模式识别、自动控制等不同领域的交叉综合课题, 也是实现智能化武器的关键技术之一; 而波门跟踪^[3]就是一种应用广泛的方法, 在跟踪过程中加入一个稍大于需要跟踪的目标图像的波门, 从而能将目标图像套在波门内。在跟踪的过程中, 跟踪系统只需要对波门内的图像信息进行处理, 大大降低了图像信息的处理量, 减少了处理时间, 提高了跟踪系统的实时性。另外, 由于波门的存在, 目标也不易受到波门外的背景和噪声干扰的影

响。在实际应用中, 根据波门大小是否变化可将波门跟踪分为固定波门跟踪和自适应波门跟踪。如果采用固定波门跟踪, 当跟踪目标由大变小时, 波门中背景像素元增加, 目标像素元减少, 跟踪效果就会变差; 当跟踪目标由小变大时, 若超出波门的范围, 那么跟踪效果也会变差。为了达到较好的跟踪效果, 就要求波门随着图像中目标的变化而变化, 即波门自适应。然而, 以往的波门自适应跟踪算法^[4-5]常常根据目标的平移以及形变等特征, 通过预测来确定波门的大小, 效果不是特别理想, 而且如果图像中出现与目标相似的物体或者在很靠近目标的地方存在干扰, 都会发生“污染问题”, 造成波门不能很好地嵌套在目标物体的外面。因此, 本文提出一种基于 Snake 模型的波门自适应跟踪算法, 利用 Snake 模型能够收敛到目标的准确轮廓这个特性得到理想的波门, 提高跟踪效果。

收稿日期: 2013-03-20

修回日期: 2013-04-09

作者简介: 崔 灿(1987—), 男, 河南商丘人, 硕士生, 研究方向为图像处理、识别与跟踪技术。

1 基于主动轮廓的 Snake 模型

主动轮廓模型即 Snake 模型^[6],是由 Kass 等人在 1987 年提出的,可以被认为是一条表示图像中突出形状的曲线。随着一系列参数的改变,它可以在外力作用下进行不规则的变形。

梯度矢量流方法(Gradient Vector Flow, GVF)^[7]是 Snake 模型中的一个典型方法,也称为 GVF Snake,其数学基础是电磁场理论中的亥姆霍兹理论,这种理论的中心思想是将一种普通的静态矢量场分成无旋场部分和有旋场部分,其创新在于将传统 Snake 的图像力用扩散方程进行处理,得到整个图像域的梯度向量场作为外部力。经过扩散方程处理后的 GVF 比 edge map 更加有序,更能体现物体边界的宏观走势。

GVF Snake 模型具有很大的搜索范围,对初始轮廓线的选取不敏感,可以较好地对凹陷的边界进行收敛,另外,对梯度绝对值的大小乃至噪声具有更好的鲁棒性,而且它还不需要预先知道轮廓线是需要膨胀还是收缩。

2 自适应分析质心跟踪算法

自适应分析质心跟踪算法^[8]以目标窗和背景窗灰度直方图统计特征为基础,通过估计目标区内背景所占比例解算出目标的直方图分布函数,利用概率论中 Bayias 决策找出目标和背景像素的分类决策,把图像中的目标像素分离出来,计算目标的质心坐标。

此算法需要满足两点假设:1) 目标和背景的灰度分布有一定差别;2) 目标周围背景的灰度近似均匀。

当目标被锁定时,目标窗口和背景窗口也同时被确定了下来,目标窗口 TR (波门内部分),包含目标和背景,而背景窗口 BR (波门外部分),只包含背景。如图 1 所示。其中:(X_c, Y_c)为目标中心点坐标; L_x, L_y 分别为目标窗的宽和高。

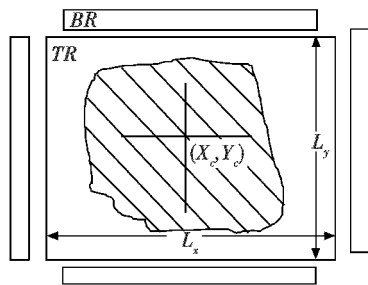


图 1 目标窗和背景窗的设置

Fig. 1 Setting of target window and background window

确定了目标窗口和背景窗口后,就可以统计 TR 和 BR 内的灰度直方图,并作归一化,其归一化后的灰度直方图分别为 $H_{tr}(x)$ 和 $H_{br}(x)$,其中, x 是像素的灰

度值。首先要对 $H_{tr}(x)$ 和 $H_{br}(x)$ 进行 25 邻域的平滑处理

$$h_{tr}(x) = \frac{1}{25} \cdot \sum H_{tr}(x+k) \quad (1)$$

$$h_{br}(x) = \frac{1}{25} \cdot \sum H_{br}(x+k) \quad (2)$$

式中, $h_{tr}(x)$ 和 $h_{br}(x)$ 为平滑处理后的灰度直方图。

假设 a_k 为目标窗内背景像素点所占的比例,即 $a_k = \frac{TR \text{ 内背景像素数}}{TR \text{ 内总像素数}}$,其中, \hat{a}_k 为 a_k 的估计值。

目标区内既包含目标,又有一部分背景,所以其灰度直方图是 $h_{tr}(x)$,应该是目标区内的目标灰度直方图 $h_t(x)$ 和背景灰度直方图 $h_b(x)$ 的加权和,即

$$h_{tr}(x) = a_k \cdot h_b(x) + (1 - a_k) \cdot h_t(x) \quad (3)$$

而背景窗内可以认为全是背景,其灰度直方图 $h_{br}(x)$ 应与背景灰度直方图 $h_b(x)$ 一致,即

$$h_{br}(x) = h_b(x) \quad (4)$$

a_k 可以根据式(5)来估计

$$\hat{a}_k = \sum W_x \cdot \frac{h_{tr}(x)}{h_{br}(x)} \quad (5)$$

式中: $W_x = \begin{cases} \frac{h_{tr}(x)}{\sum h_{br}(x)}, & x \in Z \\ 0, & x \notin Z \end{cases}, Z = X \cap Y; X = \{x |$

$h_{tr}(x) \neq 0, \text{ 且 } h_{tr}(x) \neq 0\}; Y = \{x | \frac{h_{tr}(x)}{h_{br}(x)} < 1\}$ 。

估算出 a_k 后,便可以按式(6)解算出 $h_t(x)$ 为

$$h_t(x) = \frac{h_{tr}(x) - \hat{a}_k \cdot h_{br}(x)}{(1 - \hat{a}_k)} \quad (6)$$

给定目标区中的任一像素 P ,其灰度值为 $x(P)$,则像素 $x(P)$ 为目标的概率是 $h_t(x(P)) \cdot (1 - \hat{a}_k)$,为背景的概率是 $h_b(x(P)) \cdot \hat{a}_k$,可以做如下决策:若 $h_t(x(P)) \cdot (1 - \hat{a}_k) > h_b(x(P)) \cdot \hat{a}_k$,则像素 P 为目标像素;若 $h_t(x(P)) \cdot (1 - \hat{a}_k) < h_b(x(P)) \cdot \hat{a}_k$,则像素 P 为背景像素。

把根据上述分类决策得到的所有目标像素的集合记作 T ,目标的质心坐标为

$$\begin{cases} X_c = \frac{\sum x \cdot f(x,y)}{\sum_T f(x,y)} \\ Y_c = \frac{\sum y \cdot f(x,y)}{\sum_T f(x,y)} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $f(x,y)$ 为目标点 $P(x,y)$ 的灰度值。

3 基于 Snake 模型的波门自适应跟踪方案

Step 1 如果图像序列中的背景比较复杂,可以通

过帧间差分法^[9]将视频中的干扰背景等去除,从而将前景中的运动目标提取出来,为下一步使用主动轮廓模型收敛到目标的准确轮廓提供了可靠的保证,可以大大简化其计算过程。如果图像序列中的背景没有那么复杂,用主动轮廓模型提取目标轮廓时计算量差别不大,这一步也可以省略。

Step 2 将 Step 1 处理得到的图像作为输入,手动选取需要跟踪的目标的初始轮廓,结合 GVF Snake 方法,经过一系列的迭代运算,使该轮廓收敛到目标的准确轮廓上。

Step 3 在原始图像上添加波门,波门大小可确定为

$$\begin{cases} w = x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}} \\ h = y_{i_{\max}} - y_{i_{\min}} \end{cases} \quad (8)$$

波门的中心点位置确定为

$$\begin{cases} x = \frac{x_{i_{\max}} + x_{i_{\min}}}{2} \\ y = \frac{y_{i_{\max}} + y_{i_{\min}}}{2} \end{cases} \quad (9)$$

式中, x_i, y_i 为用主动轮廓模型算法得到的边界点坐标。

这样,就能得到一个效果比较好的矩形波门,此波门正好嵌套在所要跟踪目标的外面,使得波门内的目标像素相对于背景像素要多得多。在下一步的跟踪过程中,跟踪系统只需要对波门内的图像信息进行处理,不仅提高了跟踪的精度,还大大降低了图像信息的处理量,减少了处理时间,提高了跟踪系统的实时性。

Step 4 得到矩形波门之后,接下来关键的一步就是对此波门内的图像进行处理,此处使用第 2 节中介绍的自适应分析质心跟踪算法来跟踪目标,并计算波门内背景像素点所占的比例,记为 a_k , 即 $a_k = \frac{TR \text{ 内背景像素数}}{TR \text{ 内总像素数}}$, 若 a_k 满足 $\alpha < a_k < \beta$, 其中, α, β 为两个阈值,可以根据实际需要进行选取,则说明此波门能够很好地嵌套在目标图像周围,由于相连帧中的目标一般不会发生太大变化,所以这里继续使用当前波门作为下一帧的波门。反之,则需要更新波门,以当前波门作为该帧图像的初始轮廓,再用 GVF Snake 模型收敛到目标的真实轮廓,并根据式(8)和式(9)重新确定波门的大小和位置。

Step 5 重复 Step 4, 进行下一帧的跟踪。

基于主动轮廓模型的自适应波门跟踪方法流程如图 2 所示。

该算法创新性地将主动轮廓模型与波门跟踪结合起来,利用主动轮廓模型能够很好地收敛到目标的准确轮廓这一特性,可以得到一个理想的刚好嵌套在目

标外面的波门,最大程度地提高波门内目标像素的比例,再对波门内部分进行处理,进而跟踪目标。另外,该方法还能根据波门内背景像素所占比例的大小自适应地更新波门,以便持久有效地对目标进行跟踪。

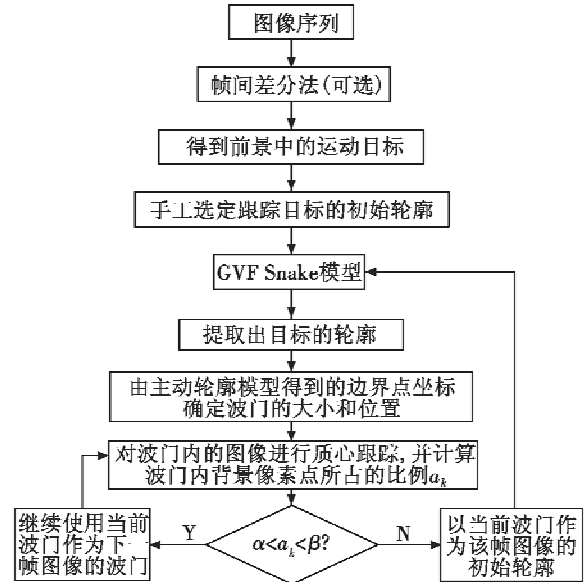


图 2 基于主动轮廓模型的自适应波门跟踪方法流程图

Fig. 2 Flowchart of the adaptive wave-gate tracking method based on active contour model

4 仿真结果与分析

为了说明基于主动轮廓模型的自适应波门跟踪方法的有效性,选取一个比较典型的视频使用 Matlab 进行仿真,其中,车辆在不同帧中显示大小会发生变化,从图 3 中可以看出本方法对某车辆目标的跟踪情况。

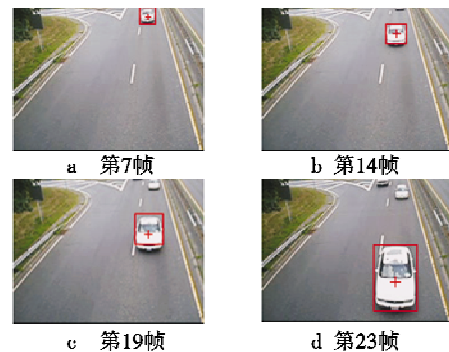


图 3 视频中对某车辆目标的跟踪

Fig. 3 Tracking of a vehicle target in the video

为了进一步说明该方法的具体实现过程,选取视频中相邻的 3 帧图像进行仿真,分别对应了初始目标的选取、不需要更新波门的帧以及需要更新波门的帧。

1) 初始帧仿真结果。

首先以第 18 帧图像为初始帧进行处理,仿真过程与结果如图 4 所示。

图4中:a为初始帧图像;b为手动选取的初始轮廓;c为经过GVF Snake模型进行处理得到的收敛轮廓;d为根据收敛轮廓边界点坐标确定的当前帧波门;e为对波门内的图像进行质心跟踪的结果。

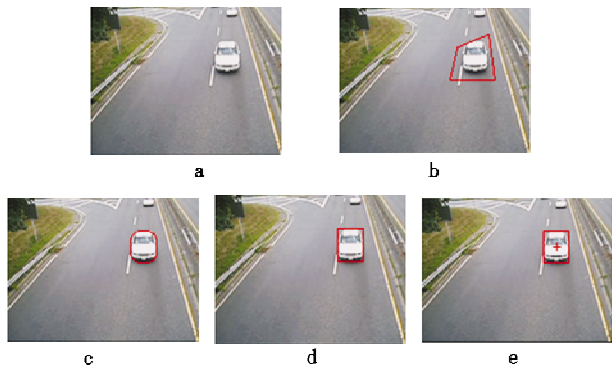


图4 图像序列中第18帧的跟踪结果

Fig.4 Tracking result of the 18th frame in an image sequence

2) 不需要更新波门帧的仿真结果。

这里对第19帧图像进行处理,仿真过程与结果如图5所示。

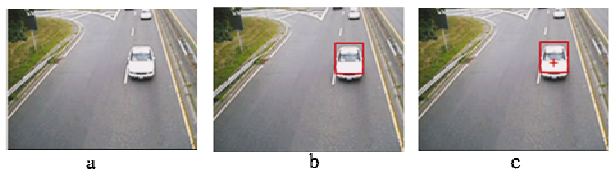


图5 图像序列中第19帧的跟踪结果

Fig.5 Tracking result of the 19th frame in an image sequence

图5中:a为第19帧的初始图像;b为使用上一帧图像的波门作为当前帧的波门,对波门内的图像进行质心跟踪,并计算波门内背景像素点所占的比例 $a_k = 0.14$,此处将阈值设为 $\alpha = 0.05$ 、 $\beta = 0.2$,满足 $\alpha < a_k < \beta$,因此,这一帧将不再更新波门;c为对波门内图像进行质心跟踪的结果。

3) 需要更新波门帧的仿真结果。

接着对第20帧图像进行处理,仿真过程与结果如图6所示。

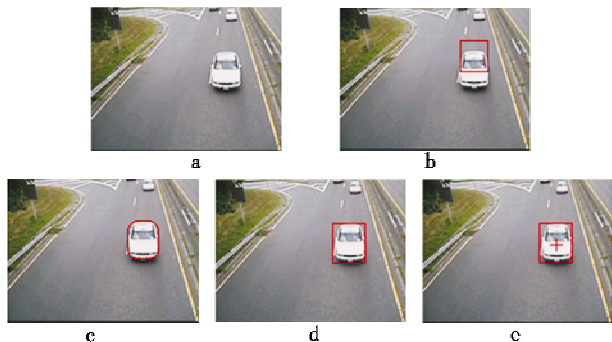


图6 图像序列中第20帧的跟踪结果

Fig.6 Tracking result of the 20th frame in an image sequence

图6中:a为第20帧的初始图像;b为使用上一帧图像的波门作为当前帧的波门,对波门内的图像进行质心跟踪,并计算波门内背景像素点所占的比例 $a_k = 0.38$,此处同样将阈值设为 $\alpha = 0.05$ 、 $\beta = 0.2$,显然 a_k 不满足 $\alpha < a_k < \beta$,因此,这一帧将需要更新波门;c为以上一帧波门为初始轮廓,并经过GVF Snake模型进行处理得到的收敛轮廓;d为根据收敛轮廓边界点坐标确定的当前帧新的波门;e为对波门内的图像重新进行质心跟踪的结果。

由图3~图6的仿真结果分析可以得出,基于主动轮廓模型的自适应波门跟踪算法能够根据跟踪目标在视频帧中的大小变化而改变波门的大小,为进一步跟踪目标提供有利条件,再通过质心跟踪算法很好地完成了目标跟踪。然而,选取的视频中由于摄像机是固定的,造成背景也固定不变,这样就大大简化了提取出目标的过程,如果背景发生变化,该算法计算量将会有所增加。另外,在视频中目标没有受到遮挡的影响,实验证明,该算法对于有遮挡的情况跟踪效果就不是那么理想了,在进一步的研究中,可以在该算法中加入粒子滤波^[10]等预测算法,提高抗遮挡性,增强算法的鲁棒性。

参考文献

- [1] 杨宜禾,周维真. 成像跟踪技术导论[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1992.
YANG Y H, ZHOU W Z. Introduction to imaging tracking technology[M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 1992.
- [2] 张然,吕高杰,张国华. 光电目标图像自动跟踪技术研究[J]. 电光与控制,2008,15(9):65-68.
ZHANG R, LÜ G J, ZHANG G H. Study on automatic tracking technologies of target image[J]. Electronics Optics & Control, 2008, 15(9): 65-68.
- [3] 王科伟,马超杰,陈炜,等. 红外成像波门形心跟踪算法的误差分析[J]. 应用光学,2009,30(2):353-356.
WANG K W, MA C J, CHEN W, et al. Error analysis for gate centroid tracking algorithm of infrared imaging[J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(2): 353-356.
- [4] 王莉,李忠海. 飞行小目标自适应双波门跟踪算法[J]. 沈阳航空工业学院学报,2009,26(5):38-42.
WANG L, LI Z H. Adaptive double gate tracking algorithm for weak aerial target[J]. Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, 2009, 26(5): 38-42.
- [5] 邹卫军,薄煜明. 一种基于自适应波门的角跟踪系统设计[J]. 微计算机信息,2008,24(30):295-297.

场范围内,一旦在此距离范围内接收的目标红外辐射能量足够,导引头即可截获并跟踪真实目标,因此,实际导弹对真实目标的截获概率很大,而且设置更小的稳定探测距离 D ,可以截获辐射强度更弱的目标。

4 结论

通过上述仿真与分析可以看出,本文提出的导引策略在理论上可以实现导弹发射后对弱小目标的探测与截获,适用于红外近距离格斗导弹对辐射强度较弱的低空掠海飞行目标的拦截,且工程上易于实现,为舰载垂直发射反导拦截时的初始段探测与制导问题提供了一种解决思路。

参考文献

- [1] 李红民. 空空导弹派生为面空导弹系统展望[J]. 航空科学技术,2006(1):31-34.
LI H M. Development trend of surface to air missile system derived form air to air missile[J]. Aeronautical Science and Technology, 2006(1):31-34.
- [2] 樊会涛,刘代军. 红外近距离格斗空空导弹发展展望[J]. 红外与激光工程,2005,34(5):564-568.
FAN H T, LIU D J. Development trends of short-range dog-fight IR air to air missile[J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(5):564-568.
- [3] 高华军,黄友谊. 舰空导弹垂直发射系统及关键技术[J]. 海军航空工程学院学报,2003,18(2):222-224.
GAO H J, HUANG Y Y. The vertical launch system of ship-to-air missile and its key technology[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2003, 18(2):222-224.
- [4] 张杨,黄建军. 垂直发射系统是未来海战中的重要装备[J]. 现代防御技术,2008,36(4):46-50.
ZHANG Y, HUANG J J. Vertical launch systems will be major equipment in the future sea warfare[J]. Modern Defence Technology, 2008, 36(4):46-50.
- [5] BROCHU R, LESTAGE R. Three-degree-of-freedom(DOF) missile trajectory simulation model and comparative study with a high fidelity 6DOF model[R]. Defense R & D Department, Canada, 2003.
- [6] 曲萍萍,周荻. 考虑导弹自动驾驶仪二阶动态特性的三维导引律[J]. 航空学报,2011,32(11):2096-2105.
QU P P, ZHOU D. Three-dimensional guidance law accounting for second-order dynamics of missile autopilot[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2011, 32(11):2096-2105.
- [7] 袁子怀,钱杏芳. 有控飞行力学与计算机仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2001:48-50.
YUAN Z H, QIAN X F. Control flight mechanics and computer simulation[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001:48-50.
- [8] 王振全,欧阳中辉. 末端舰空导弹武器系统战场环境分析[J]. 舰船电子工程,2009,29(10):180-183.
WANG Z Q, OUYANG Z H. Analysis on the battlefield environment to the terminal ship-to-air missile weapon system[J]. Ship Electronic Engineering, 2009, 29(10):180-183.
- [9] 邱道尹,张文静,顾波,等. 帧差法在运动目标实时跟踪中的应用[J]. 华北水利水电学院学报,2009,30(3):45-46.
QIU D Y, ZHANG W J, GU B, et al. Application of frame difference methods in real-time moving target tracking[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2009, 30(3):45-46.
- [10] 董春利,董育宁,刘杰. 基于粒子滤波和GVF-Snake的目标跟踪算法[J]. 仪器仪表学报,2009,30(4):828-833.
DONG C L, DONG Y N, LIU J. Object tracking algorithm based on particle filtering and GVF-Snake[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(4):828-833.
- (上接第81页)
- ZHOU W B, BO Y M. A angle-tracking system of moving object based on adaptive gate[J]. Control and Automation Publication Group, 2008, 24(30):295-297.
- [6] KASS M, WITKIN A, TERZOPOULOS D. Snakes: Active contour models[J]. International Journal on Computer Vision, 1988, 1(4):321-331.
- [7] XU C Y, PRINCE J L. Snakes, shapes, and gradient vector flow[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(3):359-369.
- [8] 翁木云,谢宇昕. 一种改进的自适应质心跟踪算法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2009,10(2):81-85.
WENG M Y, XIE Y X. An improved adaptive centroid tracking algorithm[J]. Journal of Air Force Engineering