

引用格式:刘亚伟,李小民,陈为元.基于改进 CamShift 融合 Kalman 滤波的无人机目标跟踪研究[J].电光与控制,2017,24(8):33-37. LIU Y W, LI X M, CHEN W Y. Target tracking for UAVs based on improved CamShift and Kalman filter[J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(8):33-37.

基于改进 CamShift 融合 Kalman 滤波的无人机目标跟踪研究

刘亚伟¹, 李小民¹, 陈为元²

(1. 军械工程学院无人机工程系, 石家庄 050003; 2. 中国人民解放军 71602 部队, 山东 潍坊 261055)

摘要: 针对无人机目标跟踪过程中 CamShift 算法对目标颜色相似背景干扰和遮挡干扰鲁棒性差问题, 对 CamShift 算法进行了改进。首先, 针对 CamShift 算法模板信息单一, 易受到颜色相似背景干扰的问题, 提出基于 H 分量和 LBP 二维直方图模板的 CamShift 目标跟踪算法, 改进算法提高了算法对相似目标干扰的鲁棒性, 且有效帧率提高了约 21%; 针对目标跟踪过程中目标易受到障碍物遮挡的问题, 在 CamShift 算法中引进了 Kalman 滤波预测机制, 增强了跟踪算法在目标遮挡条件下的鲁棒性和跟踪效率, 其中跟踪效率提高了约 25%, 每帧迭代所用时间下降了约 36%。

关键词: 无人机; 目标跟踪; CamShift 算法; Kalman 滤波; 鲁棒性

中图分类号: V249 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2017.08.008

Target Tracking for UAVs Based on Improved CamShift and Kalman Filter

LIU Ya-wei¹, LI Xiao-min¹, CHEN Wei-yuan²

(1. Department of UAV Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;
2. No. 71602 Unit of PLA, Weifang 261055, China)

Abstract: For target tracking carried out by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), CamShift algorithm is easily influenced by color similar background interference and sheltering interference, thus we made improvement to the algorithm. Firstly, considering that the tracking template of CamShift has little information and is easily influenced by color similar background, we proposed an improved CamShift algorithm based on 2D histogram template with H and LBP, by which the robustness to color similar background was improved, and the valid frame rate was increased by about 21%. To the problem of easily influenced by sheltering interference in target tracking, the Kalman prediction algorithm was introduced into CamShift algorithm, which could improve the robustness and tracking efficiency under sheltering interference, with the valid frame rate increased by about 25% and the average iterative time of per frame decreased by 36%.

Key words: UAV; target tracking; algorithm of CamShift; Kalman filter; robustness

0 引言

近年来,为满足未来特种作战和城市作战的需要,小型无人侦察机得到了高度重视和快速发展。小型侦察型无人机具有自身体积小、单机成本低、战场生存能力和作战隐蔽性强等优点,并且小型侦察型无人机可以代替中、大型无人侦察机在空间狭小的区域执行侦察任务,是城市作战的有效武器^[1]。

目标跟踪技术作为计算机视觉邻域的关键技术长

期受到国内外专家学者的高度关注,随着无人机技术的快速发展,将目标跟踪技术应用于无人机领域已经成为目标跟踪技术发展的必然趋势。携带有目标跟踪功能的小型无人机,可实现对目标的长时间跟踪,实时搜集目标信息,可作为一台“会飞的望远镜”。

携带有目标跟踪系统的小型无人机在军事领域可用于无人机遥感、导航定位和反恐防暴等;在民用领域可用于电视摄影、抗灾救援和交通监控等^[2]。目前常用的目标跟踪方法有 3 种,其优缺点如下所述。

1) Kalman 滤波法,计算简单、便于实现、实时性好,对相似目标干扰和目标遮挡干扰的鲁棒性强。但忽略了非线性函数泰勒展开的高阶项,造成估计的误差较大;初始状态确定困难,如果初始状态的确定误差

收稿日期:2016-09-06

修回日期:2016-09-24

基金项目:“十二五”装备预研项目(51325050101)

作者简介:刘亚伟(1991—),男,河北唐山人,硕士生,研究方向为无人机目标识别与跟踪。

较大,会导致滤波器发散;长时间跟踪时会产生明显的误差积累现象。

2) 粒子滤波法,可以应用于任意非线性、非高斯系统,对相似目标干扰和目标遮挡干扰的鲁棒性强。但是为达到较好的跟踪效果必须使用大量的样本数量,样本数越大算法越复杂;会产生粒子退化问题,导致粒子匮乏;长时间跟踪时会产生明显的误差积累现象。

3) CamShift 算法,计算简单、速度快,对尺度变化、旋转变换、背景变化和遮挡等干扰具有一定的鲁棒性。但跟踪模板信息单一,易受到相似颜色背景和相似颜色目标的干扰;对目标发生较大尺度变化、旋转变换、光照变化、背景变化、遮挡干扰鲁棒性较差。

Kalman 滤波算法和粒子滤波算法的误差积累现象不适合长时间跟踪,所以本文选取 CamShift 算法作为目标跟踪算法。首先针对 CamShift 算法跟踪模板信息单一,易受到颜色相似背景干扰的问题,提出了基于 H 和 LBP 二维模板的改进 CamShift 目标跟踪算法,针对 CamShift 算法在目标受到遮挡时鲁棒性较差的问题,提出了基于改进 CamShift 融合 Kalman 滤波的目标跟踪算法。

1 算法简介

1.1 CamShift 算法

CamShift 目标跟踪算法^[3]流程如图 1 所示。

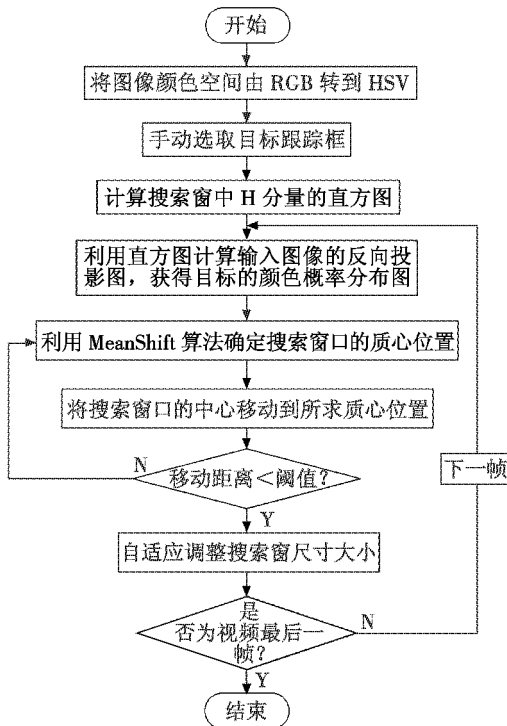


图 1 CamShift 目标跟踪流程图

Fig. 1 Flow chart of CamShift target tracking algorithm

1.2 Kalman 滤波法

Kalman 滤波器^[4]可以对动态系统状态进行最小均方误差估计,它能够在视频目标跟踪中预测下一帧目标区域的中心,并且更正当前帧的目标区域。假设 $X = (x_c, y_c)^T$ 为目标在 x 轴和 y 轴的位置, $Z = (x_c, y_c)^T$ 为观测目标的位置。初始化状态 X_i , 然后该位置作为 Kalman 滤波的观测值进行后续运算。

设 Kalman 滤波器的状态转移矩阵为 A ; 测量矩阵为 H ; 状态和测量的噪声向量分别为 W_i 和 V_i (它们均是正态白噪声且互不相关), 方差分别为 Q 和 R 。

状态向量预测方程为

$$\hat{X}_{i|i-1} = A\hat{X}_{i-1} \quad (1)$$

状态向量协方差矩阵为

$$P_{i|i-1} = AP_{i-1}A^T + Q \quad (2)$$

更新状态向量方程为

$$\hat{X}_i = \hat{X}_{i|i-1} + K_i(Z_i - H\hat{X}_{i|i-1}) \quad (3)$$

更新状态向量协方差方程为

$$P_i = (I - K_iH)P_{i|i-1} \quad (4)$$

Kalman 增益矩阵为

$$K_i = P_{i|i-1}H^T(HP_{i|i-1}H + R)^{-1} \quad (5)$$

式中: 预测状态为 $\hat{X}_{i|i-1}$; 状态估计为 \hat{X}_i ; 预测误差协方差为 $P_{i|i-1}$; 估计误差协方差为 P_i 。

2 本文算法改进

2.1 基于 H 和 LBP 二值模板的 CamShift 算法

目标跟踪过程中一个好的跟踪模板是进行可靠跟踪的前提, CamShift 模板采用的是传统的颜色概率分布图, 即只对 HSV 颜色模型中的 H 分量进行统计并作为模板, 这就导致目标跟踪过程中跟踪特征单一, 当背景与目标的 H 值相近时, 导致目标跟踪精度下降。文献[5]通过引入 S 分量形成 H-S 二维直方图模板对原算法进行改进, 文献[6]通过引入 S 和 V 分量组成三维直方图跟踪模板, 但是对相似颜色背景干扰和光照变化干扰的抗干扰效果均不明显。本文考虑到纹理特征具有较强的稳定性, 在跟踪模板中引入了纹理特征, 从而建立颜色和 LBP 纹理二维直方图, 对原算法加以改进, 改善了原 CamShift 算法模板信息单一, 易受到颜色相似背景干扰的问题^[7]。

LBP 可以作为纹理特征的有效描述, 它通过对区域中心像素和相邻像素的差值运算进行二值化, 生成局部二元图。假设某个像素为 $I(x, y)$, 考虑 3×3 像素

邻域,邻域图如图2所示。

$I(x-1,y-1)$	$I(x,y-1)$	$I(x+1,y-1)$
$I(x-1,y)$	$I(x,y)$	$I(x+1,y)$
$I(x-1,y+1)$	$I(x,y+1)$	$I(x+1,y+1)$

图2 以 $I(x,y)$ 为中心的 3×3 邻域图

Fig.2 The field figure with the center of $I(x,y)$

以中心像素为阈值,对图像像素点在邻域内进行二值化处理得

$$f(x-m,y-n) = \begin{cases} 1 & I(x,y) < I(x-m,y-n) \\ 0 & I(x,y) > I(x-m,y-n) \end{cases} \quad (6)$$

式中, m 和 n 的可能取值为 $-1, 0, 1$ 。定义 H 为系数矩阵, $H = \begin{pmatrix} 32 & 64 & 128 \\ 16 & 0 & 1 \\ 8 & 4 & 2 \end{pmatrix}$ 。利用像素的 3×3 邻域可将

任意像素转换成一个 $[0 \ 255]$ 的值,而这个值恰好满足灰度值的取值范围,其转换过程如图3所示。

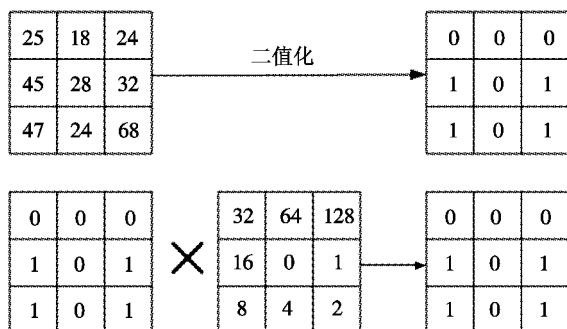


图3 局部纹理模式处理过程

Fig.3 The processing of local texture model

中心像素 $I(x,y)$ 的 LBP 值为 27。将 LBP 的值代替原 3×3 邻域中间像素的值,即可得到纹理谱图像。

本文将 H 分量和 H 分量的纹理信息 (LBP) 共同组成目标的跟踪模板, ρ_H 为颜色模板与候选模板的 Bhattacharyya 系数, ρ_{LBP} 为纹理模板与候选模板的 Bhattacharyya 系数。记跟踪过程中 H 和 LBP 的反向投影分别是 P_H 和 P_{LBP} , 加权得到的合成反向投影为

$$P = \frac{\rho_H}{\rho_H + \rho_{LBP}} P_H + \frac{\rho_{LBP}}{\rho_H + \rho_{LBP}} P_{LBP} \quad (7)$$

由式(7)可以看出,跟踪过程中当 ρ_H 变小时, P_H 贡献小 P_{LBP} 贡献大,反之同理。所以总的概率密度分布图可以自适应调整 P_H 和 P_{LBP} 的权值,增强了跟踪算法的鲁棒性。

2.2 基于改进 CamShift 融合 Kalman 滤波的目标跟踪算法

预测机制可以实现对目标下一帧位置的预测,目前常用的预测算法有 Kalman 滤波算法和粒子滤波算法。由于 Kalman 滤波,具有计算量小、实时性高的特点,并且拍摄视频相邻两帧时间非常短,所以目标可近似为匀速运动,考虑到目标跟踪的实时性要求,所以本文选用 Kalman 滤波进行目标位置预测。本文通过引入 Kalman 滤波的方式对 CamShift 算法进行改进,当 CamShift 算法可以正常跟踪的情况下, Kalman 滤波算法不参与跟踪,一旦 CamShift 算法受到外界干扰不能准确跟踪(达到一定的条件),就会引入 Kalman 滤波算法, Kalman 滤波算法根据前一帧目标的大小和位置信息来估计当前帧目标的大小和位置, Kalman 滤波算法的引入增强了 CamShift 算法的抗干扰性^[8]。本文通过 Bhattacharyya 距离(或称 BH 系数) $d(y)$ 对目标是否发生干扰进行判断, Bhattacharyya 距离可以作为两个颜色直方图的相似性度量方法, $d(y)$ 值越小,表示相似程度越大。设定一个阈值 T , 当 $d(y) > T$ 说明目标发生严重干扰,此时引入 Kalman 滤波,反之,不引入 Kalman 滤波。经过大量实验证明, T 取值 0.6 时跟踪综合效果最好。 $d(y)$ 的求解方式如下所述。

Bhattacharyya 系数 $\rho(y)$ 为

$$\rho(y) = \rho(p(y), q) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y)q_u} \quad (8)$$

式中: $p_u(y)$ 为目标模型的颜色直方图; $q_u(y)$ 为当前帧目标颜色直方图。则 Bhattacharyya 距离 $d(y)$ 为

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho(p(y), q)} = \sqrt{1 - \sum_{u=1}^m p_u(y)q_u} \quad (9)$$

3 实验结果与分析

本实验是在 VS2010 开发平台上,利用 VC++ 语言和开源代码 OpenCV 联合编程实现的。其中硬件系统:处理器为 Inter(R)Core(TM) i3 CPU M390@2.67 GHz,内存为 4.00 GB,硬盘为 500 G,操作系统为 Windows 7。实验视频选用 HERO 运动相机拍摄的目标遮挡干扰验证视频和背景干扰验证视频,分别对 CamShift 算法和改进算法在背景和遮挡干扰下进行测试。

3.1 衡量标准

本文采用 BH 系数^[9]和有效帧率^[10]分别作为颜色相似背景和背景遮挡干扰下算法跟踪准确性的衡量标准。

BH 系数可以衡量 CamShift 算法中候选模板与目标模板的相似程度, BH 系数取值在 $0 \sim 1$ 之间,用 $\rho(p(x), q)$ 表示,系数越大,表示相似度越高,即目标跟踪越

准确。

有效帧率是指视频跟踪过程中有效跟踪的帧数与总帧数的比值,用来衡量跟踪算法的有效性。判断某一帧是否为有效帧的方法可采用 BH 系数法,当 BH 系数小于某个阈值 ε 时,即认为该帧为跟踪无效帧,本实验 ε 取值为 0.7。

3.2 基于 H 和 LBP 二维模板的 CamShift 目标跟踪改进算法验证

CamShift 算法与基于 H 和 LBP 二维模板的 CamShift 目标跟踪改进算法在颜色相似背景干扰情况下的实验结果如图 4 所示。

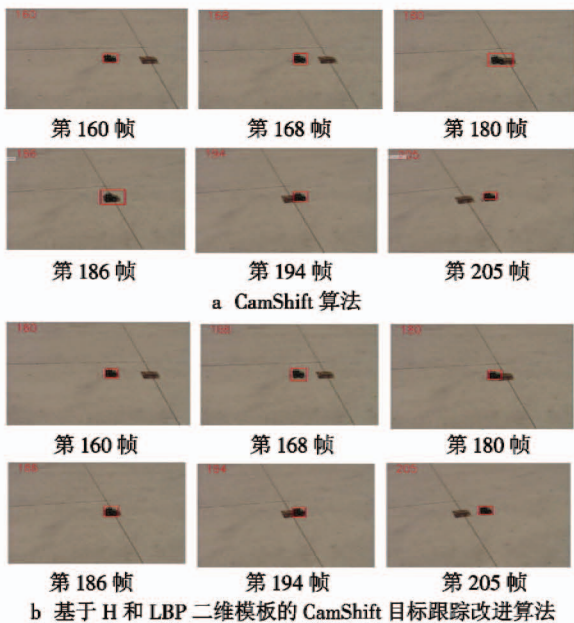


图 4 两种算法背景变化测试图

Fig.4 Test result of the two algorithms with background changed

由图 4、图 5 和表 1 可知,CamShift 算法进行目标跟踪过程中,当目标接近相似颜色背景时,严重影响目标跟踪的精度。而基于 H 和 LBP 二维模板的 CamShift 目标跟踪改进算法对相似背景的抗干扰性明显增强,提高了算法的跟踪精度。如图 5 所示,当目标没有遇到干扰时,其 BH 系数可以维持在 0.8 左右,当目标进入干扰背景时,CamShift 算法迅速下降到 0.7 以下。而当 H 和 LBP 二维模板的 CamShift 目标跟踪改进算法受到相似背景干扰时,BH 系数几乎无变化。由图 5 和表 1 可知,改进算法的 BH 系数和有效帧率明显高于原算法,有效帧率提高了约 21%。

表 1 相似颜色背景干扰有效帧率测试表

Table 1 The effective frames under the interference of color similar background

算法	测试帧数	有效帧数	有效帧率/%
CamShift	48	38	79
改进 CamShift	48	48	100

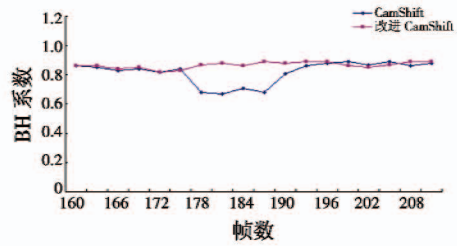


图 5 颜色相似背景干扰 BH 系数测试图

Fig.5 The BH coefficient test under the interference of color similar background

3.3 基于引入 Kalman 滤波预测的 CamShift 改进算法验证

CamShift 算法和基于 CamShift 融合 Kalman 滤波目标跟踪改进算法在遮挡干扰下的跟踪效果如图 6 所示。

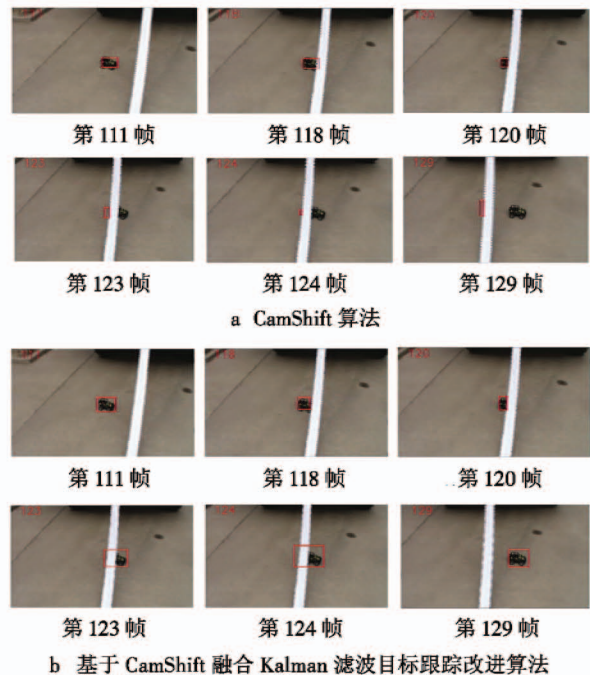


图 6 两种算法目标遮挡干扰性能测试图

Fig.6 The test result of the two methods under the interference of sheltering

由图 6、图 7 和表 2、表 3 可知,CamShift 跟踪算法虽然对目标部分遮挡具有一定的抗干扰性,但是当目标受遮挡面积较大时就会出现跟踪失败的现象。而基于 CamShift 融合 Kalman 滤波目标跟踪改进算法能够对目标遮挡问题具有强的抗干扰性,即使目标被短时间完全遮挡,当目标再次出现时能实现继续跟踪。由表 2 和表 3 可知,CamShift 融合 Kalman 滤波目标跟踪改进算法不但对目标遮挡干扰具有较强的抗干扰性,且减少了跟踪算法的计算量,提高了跟踪效率。有效帧率提高了约 25%,平均每帧迭代所用时间下降了约

36%。

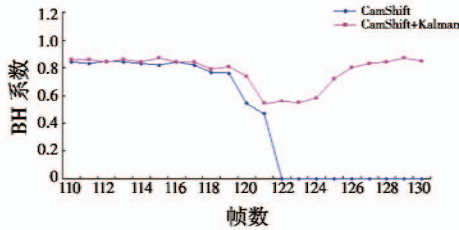


图 7 遮挡干扰条件下 BH 系数测试图
Fig. 7 The BH coefficient test under the interference of sheltering

表 2 遮挡干扰条件下有效帧率测试表

Table 2 The valid frames under the interference of sheltering

算法	测试帧数	有效帧数	有效帧率/%
CamShift	20	11	55
CamShift + Kalman	20	16	80

表 3 遮挡干扰下算法快速性测试表

Table 3 The quickness test under the interference of sheltering

算法	测试帧数	平均每帧迭代所用时间/s
CamShift	20	0.000 33
CamShift + Kalman	20	0.000 21

4 结论

本文针对小型对地侦察无人机目标跟踪算法中 CamShift 算法对相似颜色背景干扰和目标遮挡干扰鲁棒性差的问题,分别进行两方面的改进:1)针对 CamShift 模板信息单一,易受到相似颜色背景干扰的问题,提出了基于 H 和 LBP 二维跟踪模板的目标跟踪改进算法,使得改进后算法有效帧率提高了约 21%;2)针对

跟踪过程中目标易受到遮挡干扰导致跟踪失败的问题,本文通过引入 Kalman 滤波预测机制对原 CamShift 算法进行改进,改进后算法有效帧率提高了约 25%,平均每帧迭代所用时间下降了约 36%。

参考文献

- [1] 朱玮. 基于视觉的四旋翼飞行器目标识别及跟踪[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.
- [2] 李文辉. 航拍视频中运动目标的检测与跟踪算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.
- [3] 杜凯. 基于均值偏移算法的运动目标跟踪算法研究[D]. 西安:长安大学,2012.
- [4] 瞿卫欣,程承旗. 基于 Kalman 滤波的 CamShift 运动跟踪算法[J]. 北京大学学报:自然科学版,2015,51(5): 799-803.
- [5] 修春波,魏世安,万蓉风,等. 二维联合特征模型的自适应均值漂移目标跟踪[J]. 光电子·激光,2015,26(2):342-348.
- [6] 覃虎跃,支琤,徐奕. 基于三维直方图的改进 CamShift 目标跟踪算法[J]. 现代电子技术,2014,37(2):29-33.
- [7] 宋晓琳,王文涛,张伟伟. 基于 LBP 纹理和改进 CamShift 算子的车辆检测与跟踪[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2013,40(8):52-57.
- [8] 胡威. 一种新的 MeanShift 快速运动目标鲁棒跟踪方法[J]. 计算机应用与软件,2014,31(1):140-143.
- [9] 田莘. 基于 MeanShift 算法的目标跟踪问题研究[D]. 西安:西安科技大学,2011.
- [10] 赵欣,陈峰,吴立知. 一种改进的 MeanShift 运动目标跟踪算法[J]. 通信技术,2011,44(11):76-79.

(上接第 23 页)

- [4] DIERKS T, JAGANNATHAN S. Neural network output feed-back control of a quadrotor UAV [C]//The 47th IEEE Conference on Decision and Control, 2008:3633-3639.
- [5] RASHID M I, AKHTAR S. Adaptive control of a quadrotor with unknown model parameters [C]//Proceedings of 9th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology, 2012:8-14.
- [6] MOREL Y, LEONESSA A. Direct adaptive tracking control of quadrotor aerial vehicles [C]//ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2006: 155-161.
- [7] 陈彦民,何勇灵,孔令博,等. 四旋翼飞行器分散 PID 神经网络控制[J]. 中国惯性技术学报,2014,22

- (2):185-190.
- [8] 舒怀林. PID 神经网络及其控制系统[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [9] 单海燕. 四旋翼无人直升机飞行控制技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.
- [10] 苏立军,朱红娟,李小民,等. 四旋翼 PIDNN 控制器设计[J]. 电光与控制,2015,22(2):65-68.
- [11] 舒怀林. PID 神经网络对强耦合带时延多变量系统的解耦控制[J]. 控制理论与应用,1998,15(6):920-924.
- [12] ZHANG L C, ZHANG C L, HORNG J H, et al. Study on multivariable system based on PID neural network control [J]. Advanced Materials Research, 2012(591/592/593): 1490-1495.