

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2024.02.013

# 基于改进 ViBe 自适应建模的运动员姿态纠正方法

江 珊

(安徽农业大学体育部, 安徽 合肥 230036)

**摘要:**为促进运动员运动姿态的标准化,提出基于改进视觉背景提取(visual background extractor, ViBe)自适应建模的运动员姿态纠正方法。首先定义非标准姿态的 ViBe 特征描述算子,并针对改进 ViBe 特征算子实施自适应建模,以实现非标准姿态的标记,完成基于改进 ViBe 自适应建模的非标准姿态检测;然后建立非独立坐标系,通过耦合姿态偏离的方式,纠正动力学闭环内的运动姿态,完成运动员姿态纠正方法的设计;最后用 MATLAB-Adams 软件进行仿真实验,以机器人运动作为研究对象,选定跳跃运动作为目标姿态进行实验。结果表明:在上述纠正方法作用下,被试机器人髋关节不再发生转动,主腿关节、副腿关节、足端关节的转角水平也可以得到有效控制,表示该方法能够较好纠正运动员姿态。

**关键词:**ViBe 自适应建模;姿态纠正;特征算子;非独立坐标系;偏离耦合;动力学闭环

**中图分类号:**TP181 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2024)02-0093-07

## The Athlete Posture Correction Method Based on Adaptive Modeling of Improved ViBe

JIANG Shan

(Department of Physical Education, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China)

**Abstract:**To standardize athletes' movement postures, a method for correcting athletes' postures based on adaptive modeling of an improved visual background extractor (ViBe) is proposed. First, a ViBe feature descriptor for non-standard postures is defined, and adaptive modeling is implemented for the improved ViBe feature descriptor to mark the non-standard postures of athletes, thus achieving non-standard posture detection based on the improved ViBe adaptive modeling. Then, a non-independent coordinate system is established, and the movement posture within the dynamic closed loop is corrected through the coupling of posture deviations and completing the design of the athlete posture correction method. Finally, MATLAB-Adams software is used for simulation experiments, taking robot movement as the research object, and selecting jumping movement as the target posture for experimentation. The results show that under the action of the above correction method, the hip joint of the tested robot no longer rotates, and the rotation angles of the main leg joint, the secondary leg joint, and the foot joint can also be effectively controlled, indicating that this method can effectively correct athletes' postures.

**Keywords:**ViBe adaptive modeling; posture correction; characteristic operator; non-independent coordinate system; deviation from coupling; dynamic closed loop

收稿日期:2024-03-15

基金项目:2023年度安徽农业大学体育人文社会科学研究所体育哲学社会科学基金会重点项目(AUTKK2302ZD)。

作者简介:江珊(1993—)女,安徽合肥人,讲师,硕士,研究方向:体育人文社会学、学校体育学, e-mail:ppym9909@yeah.net。

## 0 引言

纠正运动员姿态应从动作评估、技巧训练等多方面着手。首先,观察运动员的身体姿势,查看其在完成预设运动行为的过程中是否存在动作不平衡的情况,并对其具体行为表现进行记录;其次,要注意查看运动员的动作是否协调且流畅,在整个动作过程中是否强调了正确的动作技巧与顺序;再次,应针对不同的运动行为,对运动员的核心肌群进行强化,一方面使其身体协调性得到提升,另一方面也可以保证运动员在运动过程中不会出现非稳定动作;最后,从生物力学角度出发,了解运动员的运动方式与身体结构以及有可能导致姿态问题的原因,并结合运动员个人情况,有针对性地制定运动纠正方法<sup>[1]</sup>。受到性别、年龄、身体情况等其他因素的影响,纠正不同运动员运动姿态时,并不能使用相同的方法。

现有研究资料中,孙琪翔等<sup>[2]</sup>主张基于非局部高分辨率网络对运动员姿态进行识别与纠正。受非局部均值方法的启发,在设计该方法的过程中,作者利用非局部高分辨率网络对各个阶段的运动图像进行拆分解析,不但获得了运动行为的全局特征,还在不同运动阶段提取出了不同的行为趋势,而这也使得运动员姿态估计结果的准确性得到了保障。张云绚等<sup>[3]</sup>提出了结合二阶注意力机制的多尺度姿态估算方法,通过在多分辨率网络中使用 Octave 软件卷积获得高质量的运动特征图,并保留更多的图像空间特征信息;然后联合二阶注意力模块,对运动员各个行为阶段的运动学特征进行分析,以确保对整个运动行为的完整解析;最后采用尺度增强训练的方式,对所得数据进行融合运算,确定具体的运动员姿态纠正方法。

就实际应用效果来看,非局部高分辨率网络、二阶注意力机制虽然都实现了对运动行为图像的准确定义,也能够运动行为轨迹中将各个动作节

点标记出来,但没有实现对实际运动姿态与标准运动姿态间偏离度的有效控制,故而有一定概率会导致运动员运动姿态非标准化问题的产生。为避免上述情况的发生,本文提出一种基于改进 ViBe 自适应建模的运动员姿态纠正方法。改进 ViBe 自适应建模是指在传统机器学习算法及统计学方法的基础上,通过初始化方式,对所涉及参数进行连续运算的方法。如果选择了适当的初始化参数,那么按照改进 ViBe 自适应建模条件进行运算,就可以确保背景模型能够准确反映出标记对象的背景信息<sup>[4]</sup>。在优化运动目标、检测运动对象等方面,应用改进 ViBe 自适应建模条件,可以在完整提取运动对象轨迹的同时,提高检测准确率,从而避免非标准运动行为的出现。

## 1 基于改进 ViBe 自适应建模的非标准姿态检测

检测非标准姿态是纠正运动员姿态的前提,基于改进 ViBe 自适应建模条件,检测非标准姿态,首先应定义 ViBe 特征描述算子,然后在此基础上求解自适应建模表达式,最后完成对非标准姿态的标记。

### 1.1 非标准姿态的 ViBe 特征描述算子

运动员姿态作为一组连续图像的有序集合,其所能反映的不仅仅是单一图像中的特征信息,也包括图像之间的时序关系。而非标准姿态则是连续姿态图像中的特殊信息对象,虽然也可以定义为数值形式,但其数值水平却与标准姿态不相同<sup>[5]</sup>。对于运动员非标准姿态的 ViBe 特征描述算子的提取,就是基于连续运动图像的处理方法,可以描述并识别出运动员在非标准姿态下的行为特征。该算子物理量的计算利用 ViBe 算法,通过对连续运动图像中的像素点进行处理和分析,提取出与运动员非标准姿态相关的特征信息。

规定  $\vec{O}$  表示运动员非标准姿态的捕捉向量, $\beta$  表示连续运动图像定义项, $p$  表示非标准姿态的行

为特征,  $\chi$  表示非标准姿态的像素点捕获系数, 联立上述物理量, 可将运动员非标准姿态行为  $\alpha$  表达为式(1)所示:

$$\alpha = -\frac{\vec{0}}{\beta(1+p^{\chi-1})}, 1 < \chi < +\infty \quad (1)$$

在式(1)的基础上, 定义 ViBe 特征描述算子  $I$ , 只需要根据 ViBe 算法中数据对象的平衡关系, 对所捕获到的信息参量进行判定, 计算式如式(2)所示:

$$I = \frac{\sum_{\delta=1}^{\infty} U_{\delta}}{\alpha \times (i^2 + u^2)} \quad (2)$$

式中:  $\delta$  表示基于 ViBe 算法的非标准姿态行为描述参数;  $U_{\delta}$  表示基于参数  $\delta$  的运动学向量;  $i$  表示非标准姿态的数值定义项;  $u$  表示 ViBe 算子的数值定义项。

## 1.2 改进 ViBe 特征算子的自适应建模

基于改进 ViBe 特征算子的运动员非标准姿态自适应建模, 首先应收集非标准姿态下的运动信息, 且这些信息必须具备明显的描述性特征; 然后从自适应处理的角度对所得姿态数据进行预处理。ViBe 特征算子是一种有效的运动目标检测方法, 但由于非标准姿态的特殊性, 该方法并不能直接用于对运动员非标准姿态进行建模, 所以还需要针对式(2)所求得的计算式进行改进, 以确保自适应建模条件与运动员非标准姿态间的适用关系。

利用自适应阈值  $\gamma$ 、ViBe 特征算子数值赋值向量  $\hat{U}$ , 联立式(2), 可将 ViBe 特征描述算子自适应改进运算式表示为式(3)所示:

$$u = \frac{1}{\gamma} \sum_{\gamma=1}^{+\infty} (\hat{U}I)^2 - \bar{E}^2 \quad (3)$$

式中:  $\gamma$  表示运动区域内的非标准姿态标记系数;  $\bar{E}$  表示运动员非标准姿态的取样均值。

使用改进后的 ViBe 特征算子实施对运动员非标准姿态的自适应建模, 能够对取样所得的姿态数据进行评估, 从而为非标准姿态检测结果的准确性提供了保障<sup>[6]</sup>。设  $\Delta T$  表示非标准运动姿态的单位取样周期,  $\vec{R}$  表示运动行为的自适应规划向量,  $\varphi$  表示基于改进 ViBe 特征算子的非标准运动姿态定义

项,  $\phi$  表示姿态数据评估系数,  $\tau$  表示自适应条件下的非标准运动姿态估值特征,  $\varepsilon$  表示标准建模参数。在上述物理量的支持下, 联立式(3), 推导运动员非标准姿态的改进 ViBe 特征算子自适应建模表达式如式(4)所示:

$$Y = \varphi \frac{\vec{R}}{|\Delta T|} + \sqrt{\phi u} + \left( \frac{\tau}{\varepsilon^{-1}} \right) \quad (4)$$

式中:  $Y$  表示当前的运动员的姿态状态。

完成自适应建模能够最大化限制非标准姿态数据的取样范围, 这也为姿态检测结果的准确性提供了保障。

## 1.3 运动员非标准姿态标记

非标准姿态标记是基于改进 ViBe 自适应建模条件, 检测运动员非标准姿态的必要环节, 不需借助特殊的符号或标志, 只要以偏转角为参考, 就可以实现对具体运动行为姿态的标记。偏转角是指运动员非标准姿态与标准姿态的角度偏差, 该项物理量越大, 就表示该运动姿态越不规范, 在实施纠正处理的过程中, 较大偏转角所对应的非标准姿态是主要的检测与标记对象<sup>[7-8]</sup>。

规定  $\lambda$  表示非标准姿态与标准姿态间的偏转角, 其计算式如式(5)所示:

$$\sin \lambda = \frac{\kappa Y}{\iota \vec{P}}, \lambda \in (0, \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

式中:  $\kappa$  表示斜边方向上的运动姿态投影参数;  $\vec{P}$  表示直角边方向上的运动姿态投影向量;  $\iota$  表示直角边方向上的投影参数;  $\lambda=0$  表示非标准姿态与标准姿态重合, 即不需要对运动员姿态进行纠正; 如果  $\lambda=\frac{\pi}{2}$ , 那么运动姿态已经偏离到其他行为象限内, 利用改进 ViBe 自适应建模条件, 无法实现对非标准姿态的检测, 所以在进行标记时, 要求  $\lambda$  必须小于  $90^\circ$ 。

在式(5)的基础上, 推导基于改进 ViBe 自适应建模的运动员非标准姿态标记表达式, 如式(6)所示:

$$A = (a - 1)^2 \times \frac{\bar{S} \times \sin \lambda}{\sum_{v \rightarrow \infty} \eta \times \hat{d}} \quad (6)$$

式中:  $A$  表示非标准姿态;  $a$  表示检测阈值;  $\bar{S}$  表示动量均值;  $v$  表示运动行为区域内的姿态方向定义系数;  $\hat{d}$  表示非标准姿态的数值记录特征;  $\eta$  表示标记效率参数。

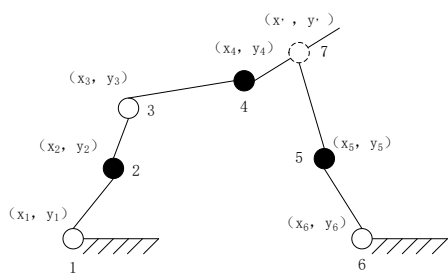
基于改进 ViBe 自适应建模的运动员非标准姿态标记是一项完全性标记处理行为, 能够对运动过程中所涉及的所有非标准姿态进行检测, 这也是后续姿态纠正的准确性能够得到保证的主要原因<sup>[9]</sup>。

## 2 针对非标准姿态的运动员姿态纠正方法

在改进 ViBe 自适应建模条件的基础上, 建立非独立坐标系, 并按照姿态偏离耦合的处理标准, 完成对动力学闭环内运动员姿态的纠正。

### 2.1 非独立坐标系建立

基于改进 ViBe 自适应建模纠正运动员姿态采用非独立坐标系作为参考。所谓非独立坐标系, 也叫参考点坐标系。在非独立坐标系中, 每一个待纠正的运动员姿态需要用 6 个坐标来表示, 其中 3 个坐标为位置坐标, 另外 3 个坐标为辅助标记坐标<sup>[10]</sup>。对于运动员任何姿态, 利用该坐标系都能做到直接描述, 简化了一些复杂的处理过程。由于改进 ViBe 自适应建模条件所定义的系数矩阵结构并不复杂, 所以利用该坐标系定位运动员姿态的计算效率比较高<sup>[11]</sup>。图 1 是非独立坐标系的示意图。



注:  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 、 $(x_3, y_3)$ 、 $(x_4, y_4)$ 、 $(x_5, y_5)$ 、 $(x_6, y_6)$  分别表示 1~6 号姿态节点的坐标值。

图 1 非独立坐标系

图 1 中, 7 号节点是一个虚设的坐标对象, 其存在目的是将其他 6 个对标节点串联起来, 故 7 号节点的坐标值不会对非独立坐标系的定义结果造成影响。

联立公式(6), 推导非独立坐标系定义式如式(7)所示:

$$Q = \mu \hat{S}^2 - \sqrt{A \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)}{y_1 \times y_2 \times y_3 \times y_4 \times y_5 \times y_6}} \quad (7)$$

式中:  $Q$  表示非独立坐标;  $\hat{S}$  表示基于改进 ViBe 自适应建模的坐标点定义项;  $\mu$  表示辅助坐标定义参数。

非独立坐标系定义式的计算不涉及任何角度参量, 所以即便在运动员姿态较为复杂的情况下, 也不会出现错误定义节点坐标的情况。

### 2.2 姿态偏离耦合

运动员姿态偏离耦合是指运动员在运动过程中, 其身体姿态与标准姿态之间的差异。这种差异可能是由于运动员自身的运动状态、身体状况、技术动作不规范等原因引起的。通过检测和分析运动员的姿态偏离, 可以了解其运动表现和潜在的改进方向, 从而为运动员的训练和比赛提供重要的参考信息<sup>[12]</sup>。

在改进的 ViBe 算法的基础上, 进一步建立自适应模型从而实现对运动员姿态偏离的耦合处理。该方法首先使用改进的 ViBe 算法对运动员进行运动目标检测, 然后利用耦合模型对检测到的运动目标进行姿态分析。耦合模型由 2 个处理流程组成: 一个是基于改进 ViBe 自适应建模条件的运动特征提取模型, 用于提取运动员的运动特征; 另一个是姿态估计模型, 用于根据提取的特征估计运动员的姿态<sup>[13]</sup>。

设  $\hat{A}$  表示基于改进 ViBe 自适应建模条件所提取的运动员姿态特征,  $s$  表示姿态估算值,  $d_0$  表示运动姿态偏离度的评定基准值。在上述物理量的支持下, 联立公式(7), 可将姿态偏离耦合计算式表示如式(8)所示:



$$D = \left( \frac{\hat{A}}{d_0} \right) \times s \left( \frac{fg'}{|\Delta F|} \right)^2 \quad (8)$$

式中: $D$ 表示运动员姿态偏离的耦合值; $g'$ 表示耦合运算参数; $f$ 表示偏离方向定义项; $\Delta F$ 表示运动员姿态的单位偏离度。

运动员姿态偏离耦合是一个复杂的过程,需要综合考虑多种因素,在纠正其运动姿态时,耦合处理结果能够提供重要的参考因素。

### 2.3 动力学闭环内的姿态纠正

动力学闭环内的运动员姿态纠正就是基于改进ViBe自适应建模原理调整运动员姿态,其主要目的是通过分析运动员的运动学和动力学特征,对其不正确的姿势进行纠正,以提高运动表现和预防运动损伤。动力学闭环是基于姿态偏离耦合关系,所定义的闭合的动作行为轨迹,由于该轨迹内的每一个动作节点都属于一个独立的姿态对象,所以在进行纠正时,应通过传感器或摄像头采集运动员在运动中的姿态数据,这些数据可以包括关节角度、运动速度、加速度等<sup>[14-15]</sup>。此外,利用改进ViBe自适应建模原理对运动员的姿态进行纠正,还应选定一个标准的动作节点作为比照对象,以确保运动员姿态的稳定性和正确性。

设 $l_1$ 表示标准姿态对象, $l_2$ 表示待纠正的姿态对象, $\vartheta_1$ 表示标准姿态对象在动力学闭环内的姿态数据, $\vartheta_2$ 表示待纠正姿态对象在动力学闭环内的姿态数据, $\vartheta$ 表示基于改进ViBe自适应建模条件所定义的运算阈值, $\vec{b}$ 表示纠正处理向量,联立公式(8),推导动力学闭环内的运动员姿态纠正表达式如式(9)所示:

$$M = \frac{F}{\vartheta} (l_1 - l_2) + \vec{b}(\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (9)$$

式中: $M$ 表示运动姿态纠正值。

在整个训练过程中,纠正过程是反复进行的。每次训练后,都会重新采集数据、分析、生成新的纠正建议,直到达到满意的运动表现和姿态。这种方法的优势在于它能够实时、精确地分析运动员的姿

态,并提供个性化的纠正建议。这不仅有助于提高运动成绩,而且可以有效地预防运动损伤。

## 3 仿真实验

以机器人运动行为作为研究对象,选定跳跃运动作为目标姿态进行仿真实验,采用MATLAB-Adams软件作为机器人仿真的平台。首先通过将机器人的三维运动模型导入软件,从而在软件平台中构造定义出机器人的虚拟样机;然后,通过设置虚拟样机参数,构造出较为接近运动员真实运动场景的仿真环境;最后,绘制姿态曲线并输入相关的纠正及控制算法,从而实现对仿真实验环境的搭建。

根据实际情况,对其施加约束,进行模型定义。设置机器人髋关节、主腿关节、副腿关节、足端关节为个目标姿态点,限制机器人腿部关节的运动幅度,建立起系统的输入与输出变量,并且建立起地面给机器人足端的作用力与关节力矩。建立好的机器人虚拟样机模型如图2所示。

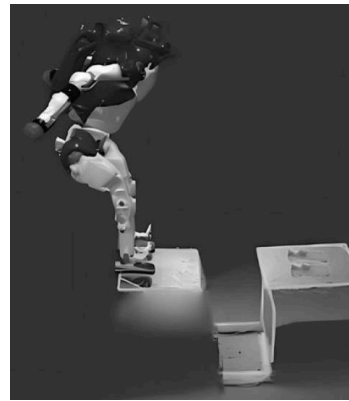


图2 机器人虚拟样机

由于在机器人在完成跳跃运动的过程中,足端对地面会产生斜向前的作用力,若地面过于光滑,机器人足部就会打滑,不但会严重影响机器人的运动性能,还会使实验结果出现偏差。针对于这种情况,选择粗糙摩擦系数较大的木质地地板作为地面材料,一方面避免足端与地面间出现相对滑动情况,另一方面也可以给定适宜的摩擦系数,从而使实验得以顺利进行。

在 MATLAB 软件中根据机器人运动学、动力学特性,以及轨迹规划和机器人控制需求,编写算法。再加之 软件中已经设定好的虚拟样机,添加完成输入输出变量后,通过 MATLAB-Adams 软件中的控制模块导出模型,具体的控制界面如图 3 所示。

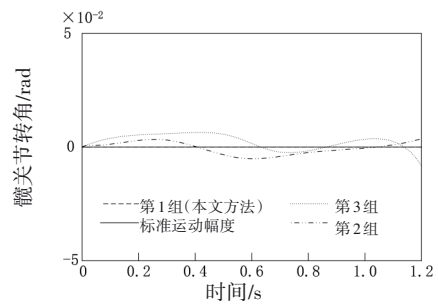


图 3 MATLAB-Adams 软件控制界面

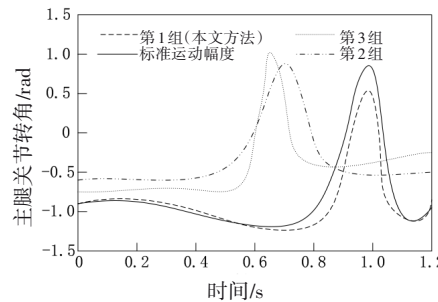
分别将基于改进 ViBe 自适应建模的运动员姿态纠正方法(第 1 组,本文方法)、基于非局部高分辨率网络对运动员姿态进行识别与纠正方法(第 2 组)、结合二阶注意力机制的多尺度姿态估算方法(第 3 组)执行程序输入 MATLAB-Adams 软件,记录不同方法作用下,机器人髋关节、主腿关节、副腿关节、足端关节转角与标准运动幅度之间的对比情况,关节转角与标准运动幅度的差值越小,就表示所应用方法对运动员姿态的纠正能力越强。实验结果如图 4 所示。

分析图 4 可知,整个实验过程中,第 1 组(本文方法)关节转角与标准运动幅度之间的差值水平始终相对较低,特别是髋关节,两类曲线的走向形式及数值水平完全相同。第 2 组、第 3 组关节转角与标准运动幅度之间的差值水平始终相对较高,其关节转角实验曲线的数值变化规律并不能与标准运动幅度曲线保持一致。

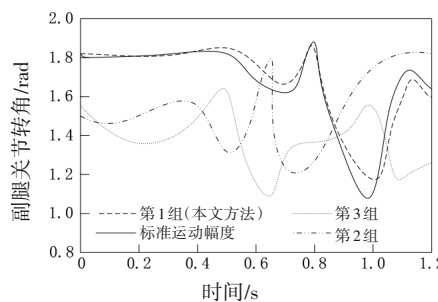
综上所述,相较于基于非局部高分辨率网络对运动员姿态进行识别与纠正方法、结合二阶注意力机制的多尺度姿态估算方法,基于改进 ViBe 自适应建模的运动员姿态纠正方法对关节转角的控制能力更强,这就表示经过该方法的纠正作用后,运动



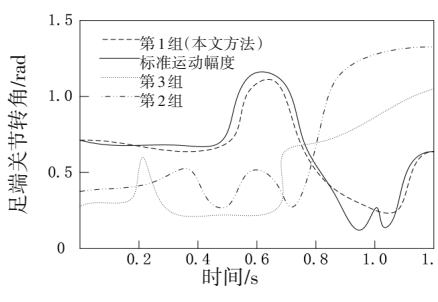
(a) 髋关节



(b) 主腿关节



(c) 副腿关节



(d) 足端关节

图 4 姿态纠正实验

员运动姿态的标准化能够得到有效保证。

#### 4 结束语

随着科技的发展,运动训练正朝着智能化、个性化的方向发展。其中,运动员姿态纠正作为提高运动表现和预防运动损伤的关键环节,受到了广泛

关注。本文所提出的基于改进ViBe自适应建模的运动员姿态纠正方法,旨在为运动员提供更加实时、准确的姿态反馈,从而优化其运动表现。将改进后的ViBe算法与运动员姿态纠正相结合。通过实时采集运动员的运动数据,利用改进后的ViBe算法进行姿态分析,并生成相应的纠正建议。这种自

适应建模的方法能够根据运动员的实际状况动态调整模型参数,为运动员提供更加个性化的训练指导。未来,相关组织机构应进一步研究该方法在实际运动训练中的应用,以期为运动员提供更加智能、高效的训练辅助。

#### 参考文献:

- [1] 黄程远,宋晓宁,冯振华. ARGP-Pose: 基于关键点间关系分析与分组预测的3D人体姿态估计[J]. 计算机应用研究, 2022, 39(7): 2178-2182+2202.
- [2] 孙琪翔,张睿哲,何宁,等. 基于非局部高分辨率网络的人体姿态估计方法[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(13): 227-234.
- [3] 张云绚,董绵绵,王鹏,等. 结合二阶注意力机制的多尺度人体姿态估计[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(32): 14321-14327.
- [4] 陈玮琳,裘莉娅,李争,等. 复杂背景下基于Vibe和改进LBP的运动目标检测算法[J]. 激光与光电子学进展, 2023, 60(4): 185-192.
- [5] 赵志杰,罗振兵,刘杰夫,等. 基于分布式合成双射流的飞行器无舵面三轴姿态控制飞行试验[J]. 力学学报, 2022, 54(5): 1220-1228.
- [6] 金龙,李嘉昌,常振强,等. 基于ACP理论的微型扑翼飞行器的姿态控制[J]. 自动化学报, 2023, 49(12): 2532-2543.
- [7] 管萍,吴希岩,戈新生. 基于Tube的挠性航天器模型预测姿态控制及主动振动控制[J]. 振动与冲击, 2022, 41(16): 261-270.
- [8] 薛晶勇,杨波,朱永乐,等. 四旋翼不确定干扰前馈补偿与反步滑模姿态控制[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(2): 345-354.
- [9] 宋卓越,马慧颖. 基于新型双曲正切趋近律的固定/有限时间姿态控制[J]. 北京理工大学学报, 2023, 43(4): 383-393.
- [10] 梁天添,王润泽,李科信,等. 基于扰动观测器的卫星姿态控制系统自适应有限时间容错控制[J]. 中国惯性技术学报, 2022, 30(3): 403-411.
- [11] 李兵科,于延波,王蜀泉,等. 基于控制力矩陀螺的航天器功率最优姿态控制[J]. 空间控制技术与应用, 2023, 49(1): 30-39.
- [12] 朱代武,刘豪,路东林,等. 基于UIF-MPC仿真的UAV环航姿态控制研究[J]. 火力与指挥控制, 2023, 48(5): 158-163.
- [13] 李鸿一,王琰,姚得银,等. 基于事件触发机制的多四旋翼无人机鲁棒自适应滑模姿态控制[J]. 中国科学:信息科学, 2023, 53(1): 66-80.
- [14] 艾青林,蒋锦涛,刘刚江,等. 基于遗传算法与模糊分数阶PID的钢结构损伤检测机器人姿态控制[J]. 高技术通讯, 2022, 32(6): 615-623.
- [15] 范振,陈乃建,董春超,等. 基于深度强化学习的单臂机器人末端姿态控制[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2022, 36(5): 616-625+634.