

# Research on Improvement of Transient Control Algorithm for Dual System Hybrid VTOL UAV Based on PX4

Yazhong Jiang, Lifeng Wang

Field Bus Technology & Automation Lab, North China University of Technology, Beijing  
Email: 437631290@qq.com

Received: Jul. 2<sup>nd</sup>, 2018; accepted: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2018; published: Jul. 30<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The composite dual-system VTOL UAV combines multi-rotor and fixed-wing. The transition process from multi-rotor to fixed-wing mode will involve the simultaneous control of multi-rotor and fixed-wing in flight control. In this paper, a weight control algorithm is used to allocate the two systems in the transition state to coordinate the integrated control. At the same time, in order to avoid actuator saturation and improve the stability of transition state, the PID algorithm of multi-rotor attitude and position control is improved by using activation function.

## Keywords

VTOL UAV, Flight Control, Transition State

---

# 基于PX4的双系统复合式垂直起降无人机过渡态控制算法改进研究

姜亚中, 王立峰

北方工业大学现场总线技术及自动化实验室, 北京  
Email: 437631290@qq.com

收稿日期: 2018年7月2日; 录用日期: 2018年7月23日; 发布日期: 2018年7月30日

---

## 摘要

双系统复合式垂直起降无人机结合了多旋翼与固定翼, 由多旋翼转换至固定翼模式的过渡态过程, 将涉及到多旋翼和固定翼同时参与飞行控制的问题。文中提出一种权重的控制算法分配双系统在过渡态相互

配合的一体化控制方案, 同时使用激活函数方法改进多旋翼姿态与位置控制的PID算法, 以避免执行器输出饱和, 提高过渡态稳定性。

## 关键词

垂直起降无人机, 飞行控制, 过渡状态

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

垂直起降无人机是近几年飞速发展的一种新型飞行器。双系统复合式垂直起降无人机[1][2]将四旋翼与固定翼复合在一种系统, 此种布局兼具了固定翼高速平飞及四旋翼悬停的能力, 较其他几种垂直起降无人机也具有转换过渡稳定平滑, 可控性强的特点。其中从多旋翼模式到固定翼模式的过渡态是此类无人机的关键环节。文献[3]针对正在转换过程时可能会受到外部干扰的情况, 采用PID与线性自抗干扰控制器结合使用的办法, 提高了飞机的鲁棒性。由于此阶段包含多旋翼和固定翼两种飞行控制方式同时发挥作用, 所以使两种飞行控制方式完美配合是稳定过渡的重要体现。

PX4是一种可以实现自动驾驶的软件[4], 本文将在此款软件下针对过渡态控制算法展开改进研究。

## 2. 一体化控制方案

针对过渡态的控制算法, 主要从以下两方面入手:

1) 由于过渡态同时存在多旋翼和固定翼两种控制方式, 采用权重的方法分配两种控制方式。当无人机的速度越接近转换速度时, 多旋翼所参与的控制作用将越小。转换速度被设定为略大于失速速度, 譬如1.1倍失速速度。固定翼在过渡态俯仰、横滚和偏航将发挥作用, 而油门通道则以恒定设定值参与控制。当速度大于等于转换速度时无人机则进入固定飞行模式, 此时多旋翼控制器完全关闭。

2) 针对多旋翼的姿态和位置控制的PID控制[5]中的误差输入存在过大的情况, 引入一个激活函数, 将输出控制在一定的范围内。此时无论如何改变PID参数或误差输入多大, 输出均不会饱和而导致无人机瞬间姿态和位置变化过大。

## 3. 软件实现

1) 在无人机进入过渡状态后, 固定翼油门通道将立即提高到设定值(一般设定在75%以上), 同时其他三个通道的执行器打开。而多旋翼的四个通道的权重将按如下公式产生变化:

$$W_{mc} = 1 - v_i^2 / v_t^2 \quad (1)$$

$W_{mc}$ : 多旋翼权重;  $v_i$ : 飞行速度;  $v_t$ : 转换速度

由于升力与飞行速度的平方近似成正比, 所以公式中采用飞行速度的平方作为参考是最为合适的。由公式可知, 当飞行速度的平方越接近转换速度时, 多旋翼权重将越接近零。由于多旋翼权重值将会与执行器输出相乘, 所以当飞行速度达到转换速度时, 多旋翼的执行器输出即为零, 四个旋翼电机停止旋转, 无人机进入固定翼飞行模式。

过渡态控制的软件设计流程图如图1所示。

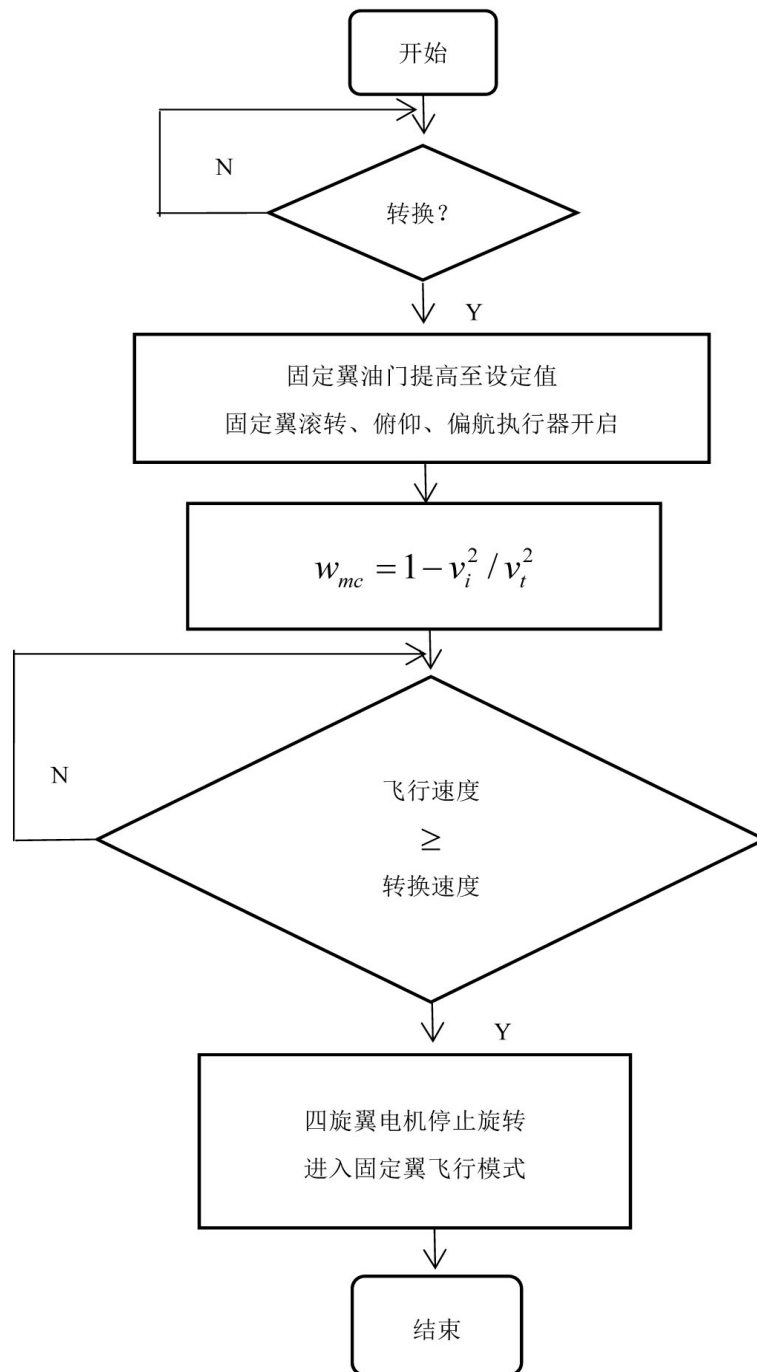


Figure 1. Flowchart of program design  
图 1. 程序设计流程图

2) 多旋翼在过渡态控制过程极为关键, 远大于固定翼的控制, 因此, 针对多旋翼的姿态和位置的 PID 控制又做出如下改进:

$$u = k \cdot S(\xi) \quad (2)$$

$$\xi = k_p e = k_i \int e dt + k_D \frac{de}{dt} \quad (3)$$

$u$ : 控制器输出  $S(\xi)$ : 激活函数  $k_p, k_I, k_D$ : PID 参数  $e$ : 误差

有公式可见, 在 PID 控制的基础之上, 在外面又套了一个激活函数  $S(x)$ ,  $k$  为激活函数的一个动态因子, 可以调整激活函数的输出。这里选用的激活函数为双曲正切函数  $\tanh(x)$ , 其函数公式和曲线如图 2 所示。

$$\tanh(x) = \frac{\sinh(x)}{\cosh(x)} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4)$$

由  $\tanh$  函数曲线图可知其输出区间总是在  $(-1,1)$  之间, 而且整体函数以 0 为中心。因此, 无论输入误差多大, 或 PID 参数如何调整, 在  $\tanh$  函数作用下, 都可以将控制器输出控制在一定范围内。这样即使在较大外部因素的影响下, 无人机在姿态和位置的反应变化上将不会有瞬间的巨大改变, 保证了飞行时更加平稳。

#### 4. SITL 仿真实验

Gazebo 是一个自主机器人 3D 仿真环境[6]。Gazebo 可以使得 PX4 飞行代码在其仿真世界中通过地面站、遥控器或板外 API 实现对模拟无人机的控制。

Gazebo 仿真环境与 PX4 的关系如图 3 所示。PX4 使用其模拟特定的模块创建 Gazebo 的 UDP 链接, 并使用模拟器 MAVLink API 与 Gazebo 交互信息。此 API 定义了一组 MAVLink 消息, Gazebo 将来自于其模拟环境中的传感器数据提供给 PX4, 并从应用于模拟无人机的 PX4 飞行代码中返回电机和执行器的数值。PX4 利用 MAVLink 模块建立 UDP 连接到地面站和外部 API。遥控器则通过串口连接至地面站。

#### 5. 仿真结果

本次实验在 Gazebo 环境下进行 PX4 的软件在环仿真。机型选择为混合式垂直起降无人机, 其中固定翼部分为飞翼。如图 4 所示。

飞翼机没有传统尾翼, 将机翼与机身融合在一起, 具有质量轻, 阻力小等特点。在固定翼的两个机翼的前后各加一个电机, 就完成了四旋翼与固定翼的复合, 即混合式垂直起降无人机。

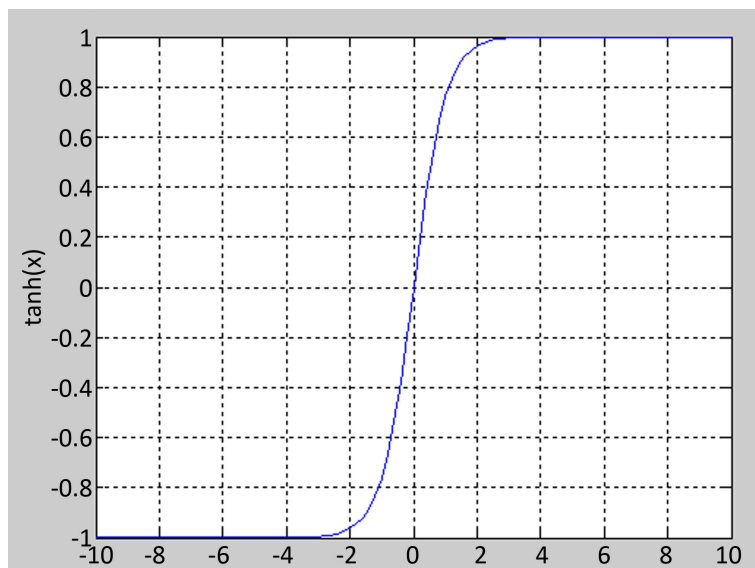


Figure 2. Tanh function curve

图 2. Tanh 函数曲线图

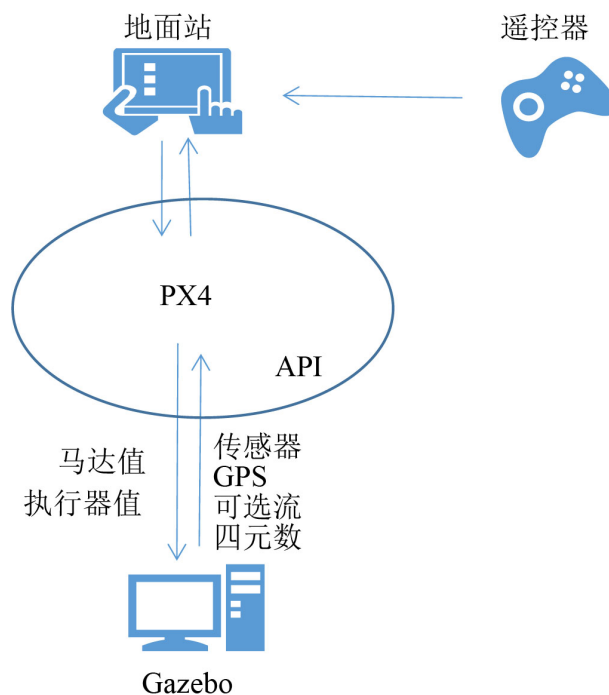


Figure 3. Gazebo simulation environment relation diagram

图 3. Gazebo 仿真环境关系图

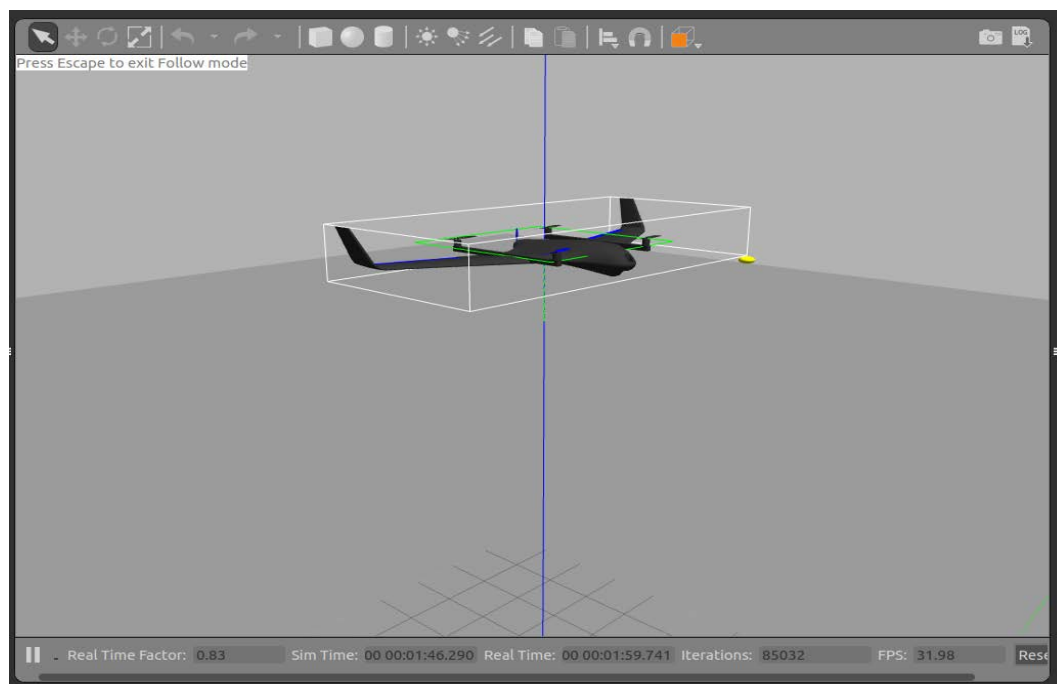


Figure 4. Gazebo simulation environment

图 4. Gazebo 仿真环境

此次实验包含了起飞, 飞行模式转换, 盘旋, 降落, 是一次完整的飞行试验。试验结果如图 5 至图 9 所示。

图 5 和图 6 中的粉色区域为过渡态, 即 1:17.2 至 1:19.6 为转换阶段。图 5 中 Output0 至 Output3 分别

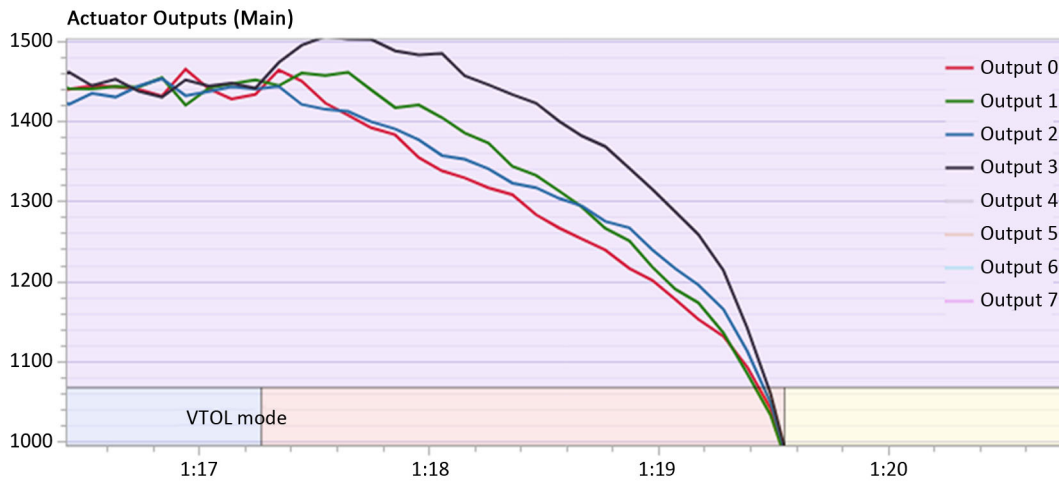


Figure 5. Output curve of multi-rotor motor  
图 5. 多旋翼电机输出曲线图

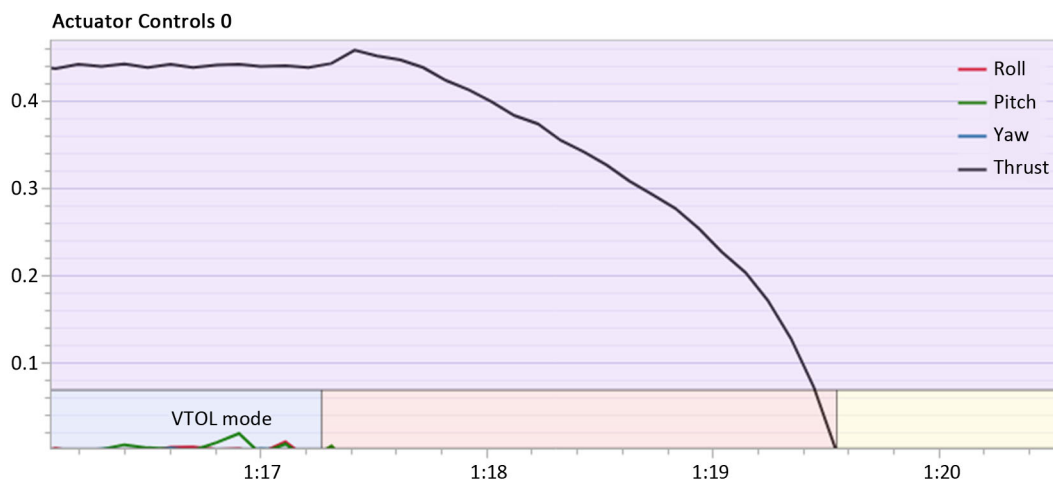


Figure 6. Output curve of multi-rotor channel  
图 6. 多旋翼通道输出曲线图

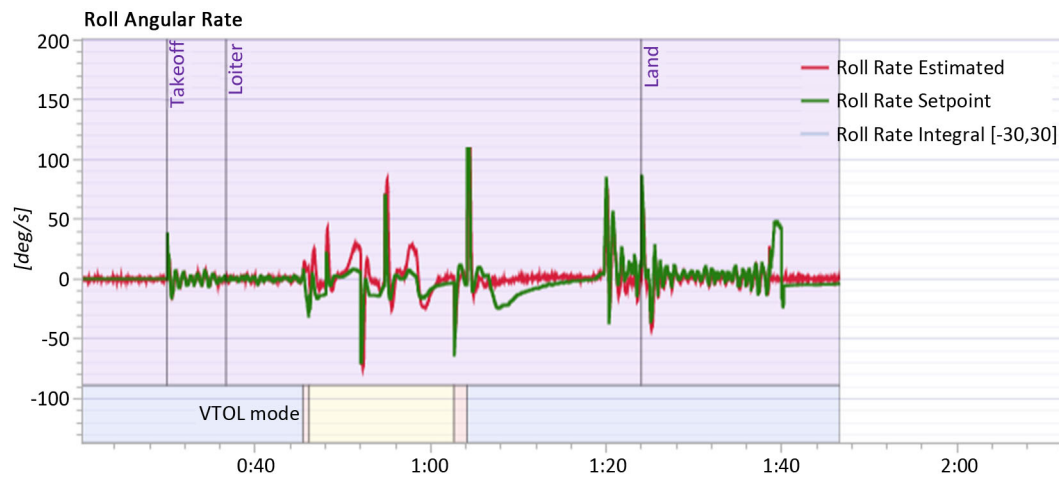


Figure 7. Roll angular rate curve  
图 7. 滚转角速度曲线图

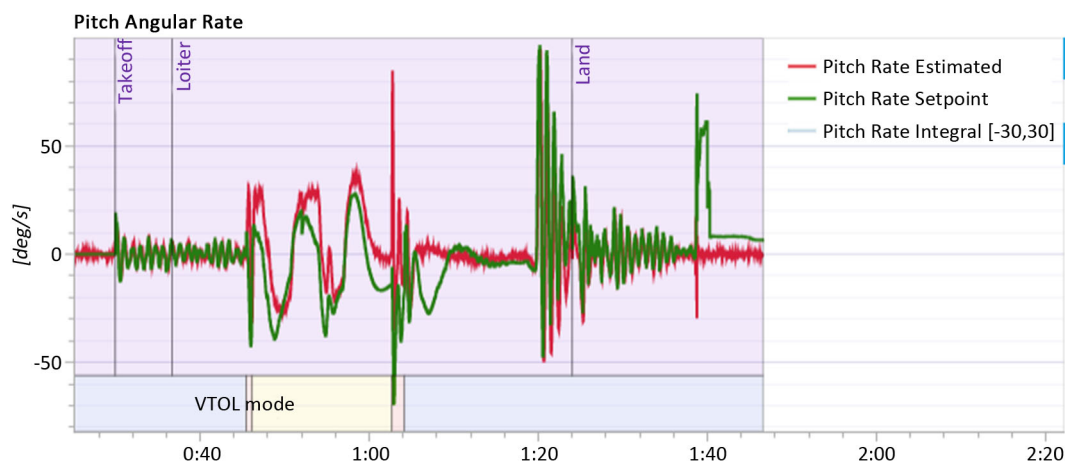


Figure 8. Pitch angular rate curve

图 8. 俯仰角速度曲线图



Figure 9. Yaw angular rate curve

图 9. 偏航角速度曲线图

对应多旋翼四个电机的输出。PWM 的输出区间为 1000~2000 us, 即 1000 us 对应电机最低转速, 2000 us 对应电机最高转速, 而飞机悬停时对应的 PWM 则在 1500 us 左右。图 6 为多旋翼滚转、俯仰、偏航和油门通道输出图。滚转、俯仰和偏航通道的输出区间为 $[-1,1]$ , 油门通道的输出区间为 $[0,1]$ 。由于在过渡态没有滚转、俯仰以及偏航的指令, 所以此三通道的输出为零。图 5 的多旋翼四个电机的输出曲线和图 6 的油门通道输出曲线均基本符合公式(1)的变化规律。

图 7, 图 8, 图 9 分别为滚转, 俯仰和偏航角速度的曲线图。图中展示了起飞, 盘旋和降落三个飞行过程。其中盘旋过程又包括了多旋翼飞行, 过渡态和固定翼飞行三种飞行状态。红色曲线为角速度的估计值, 绿色曲线为角速度的设定值。图中角速度的估计值曲线与设定值曲线基本吻合, 也没有出现曲线饱和的情况, 说明在激活函数的限制下, 输出被控制在一定范围内。

## 6. 结束语

本文针对双系统复合式垂直起降无人机的过渡阶段, 根据飞机空速与升力的关系, 对过渡态的控制算法进行了改进一体化控制, 对多旋翼和固定翼两种飞行模式在过渡态所参与控制的权重完成了合理的分配。尤其针对多旋翼的姿态与位置 PID 控制又加以可调限幅的处理, 保证了飞机的瞬间姿态与位置变

化在可控范围内。最终通过仿真实验完成了验证。通过以上两步的改进, 进一步提高的混合式垂直起降无人机过渡态的稳定性。

## 参考文献

- [1] Tyan, M., Nguyen, N.V., Lee, J.-W., *et al.* (2016) A Hybrid VTOL-Fixed Wing Electric UAV Sizing Methodology Development. *KSAS 2016 Fall Conference*, Jeju.
- [2] Yu, S. and Kwon, Y. (2017) Development of VTOL Drone for Stable Transit Flight. *Journal of Computer & Communications*, **5**, 36-43. <https://doi.org/10.4236/jcc.2017.57004>
- [3] Guclu, A., Kurtulus, D.F. and Arikan, K.B. (2015) Attitude and Altitude Stabilization of Fixed Wing VTOL Unmanned Air Vehicle. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Washington DC, 13-17 June 2016.
- [4] 陈子杰, 刘永辉, 赵厚宝, 等. 基于 PX4 构建高可靠多旋翼控制器的实现方法[J]. *软件产业与工程*, 2014(6): 38-42.
- [5] Çakici, F. and Leblebicioğlu, M.K. (2016) Control System Design of a Vertical Take-off and Landing Fixed-Wing UAV. *IFAC-PapersOnLine*, **49**, 267-272. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.045>
- [6] 刘一鸣, 许辉, 耿长兴, 等. ROS/Gazebo 环境下的机械臂运动规划研究[J]. *煤矿机械*, 2018(3): 42-44..

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-677X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [dsc@hanspub.org](mailto:dsc@hanspub.org)