

基于三段组合控制策略的无人机飞行控制

梁成顺, 谢军

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:针对无人机飞行控制的特点,提出一种三段组合控制策略。该控制策略包括基于线性控制系统设计的常规控制律;基于模糊规则推理的超常控制律;基于边界判据的危机控制律。机上数据处理中心接收雷达、传感器等信息源的信号,计算处理产生评估信号,状态选择器根据评估信号按专家知识库选择正确的控制信号,从而控制无人机平台。仿真表明,该控制策略合理可行。

关键词:飞行控制;无人机;三段组合

中图分类号:V279 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)03-0027-04

无人驾驶航空器(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)简称无人机是未来空战的主角,是敌我空中体系对抗的重要单元。无人机与有人驾驶飞机相比,其飞行控制系统应具有高度的自主性和应付复杂环境的能力。对于这样一个复杂的控制系统,用单一的模型和控制策略很难使被控对象的全程控制达到优良品质。如飞机在平飞状态采用的控制律能使其具有良好的飞行品质,而当飞机迎角处于临界状态时,若仍采用相同的控制律,将是非常危险的。本文提出一种新的控制策略:三段组合控制。应用该策略可以很好地解决对象的鲁棒性控制问题,可以达到系统全程品质优良。

三段组合控制是指常规控制、超常控制和危机控制。常规控制是基于经典控制和线性系统理论的控制,通过零极点匹配消除不稳定因素来实现被控对象正常情况下的控制;超常控制是基于模糊规则推理的控制,用来解决系统在发生异常情况下的控制;危机控制是基于边界判据的控制,用来解决当外界环境变化足以威胁到被控对象的生存时,系统本身采取的一种应急措施,目的是避免损失或尽量减少损失。

1 控制策略的设计原理

三段组合控制是指将雷达和传感器等信息源采集到的信号和地面指挥控制系统的输入信号传输到机上数据处理中心,处理后的信息传输给常规控制、超常控制和危机控制模块,按照三种不同的算法,解算出相应的控制信号,经状态选择器确定正确的控制信号,经放大器和执行机构来操纵无人机。原理见图1。

1.1 数据处理中心

机上数据处理中心是数据处理的核心,负责接收信息源和地面指挥控制系统的输入信号,并将信息源测量的数据,根据相关的方程计算出控制量 U 、误差信号 E 、误差的导数 \dot{E} 、信息源综合评估信号和干预输入信号等,其中将 U 、 E 、 \dot{E} 传输给3个控制模块,用于控制计算。信息源综合评估信号是根据多个信息源观测数据的组合特征以及对信息源输入加权和阈值滤波,并进行逻辑判定后得到的,用于实现控制律的选择。

1.2 常规控制

常规控制是根据已知知识建立的数学模型,以状态空间方法为核心,经过系统分析和辨识,实现系统在正常情况下的控制,实现无静差跟踪控制。一般来说,控制系统的任务就是寻求控制 $U(t)$ 使得输出 $Y(t)$ 达到所要求的形式。一种控制的任务是使 $Y(t)$ 的误差尽量小(调节问题);另一种控制的任务是使偏差 $e(t)$

收稿日期:2003-01-18

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:梁成顺(1973-),男,河北徐水人,硕士生,主要从事飞行控制研究。

$= R(t) - Y(t)$ 尽量小(跟踪问题)。

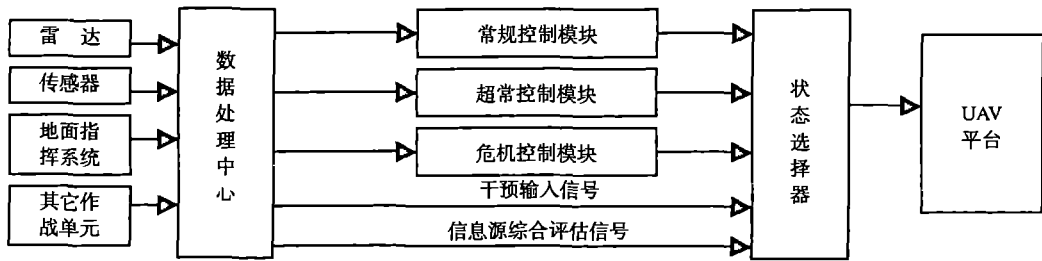


图1 三段组合控制原理图

1.3 超常控制

超常控制是基于模糊规则推理的控制。设计控制器时,通常采用输出误差,误差的变动 e_c 以及误差的和 e_i 作为控制器的输入变量。控制器的输出可以是被控过程的控制量,也可以是变化量(原理见文献[4])。

模糊器是将精确输入集合映射成模糊集合。规则库是由 IF - THEN 规则集合组成,是依据设计和实验数据,通过计算机编程实现。

推理机是把模糊规则库中的规则集合起来,将模糊输入集合映射成输出中的模糊集合。

去模糊器是把推理机输出的模糊集合映射成精确的输出。其物理意义是“使重要规则的输出对控制信号有更强的作用。”

控制器被设计成 PID 自整定控制器,控制增益是由模糊运算得到的,不需要被控对象的精确数学模型。

1.4 危机控制

危机控制是基于边界判据的控制,它是通过计算一些重要参数,如高度、速度、温度和迎角等,在参数达到边界值时,向系统发出应急控制信号,并发出系统告警信号,提示系统采取应急措施来尽量减少损失。

当实际输入值在 U_{max} 和 U_{min} 之间时,无信号输出,当 $U \geq U_{max}$ 或 $U \leq U_{min}$ 时,输出最大的控制信号。

1.5 状态选择器

状态选择器是一个用于实现控制规律正确选择的任务计算机。它通过接收机上数据处理中心输出的信息源综合评估信号和干预输入信号,依据专家规则(包括原始的和生成的事实),通过逻辑推理来实现控制律的正确选择。当没有地面指挥控制系统的输入时,干预输入信号为 0,根据信息源综合评估信号,按照专家规则,依据被控对象的状态来实现控制律的正确选择,从而实现自动控制。当有地面指挥控制系统的输入信号时,就将干预输入信号直接作用于被控对象,并断开自动控制,来实现地面指挥控制。状态选择器的原理见图 2。

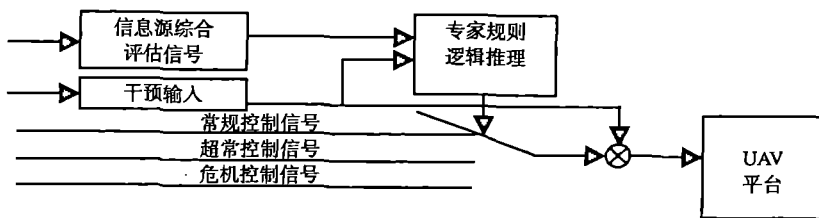


图2 状态选择器原理

2 仿真结果

本文针对无人机的飞行状态,以高度保持和低高度拉起两种飞行状态为例,应用三段组合控制策略,初步探讨无人机的控制规律,并作相应分析。无人机在自主飞行状态和遥控飞行状态下,其控制结构见图 3。

2.1 常规控制仿真

常规控制目的是保证无人机在正常飞行下安全,主要包括高度、空速(Ma 数)、姿态的保持与控制等模态。以某型飞机的高度保持与控制为例。将飞机的参数代入方程,利用 MATLAB 和 Simulink 软件包,计算

得到此模态的阶跃响应曲线见图4。其中 θ_c 为俯仰角; θ 为俯仰航迹角; δ_z 为平尾偏角; α 为迎角; ω_z 为俯仰角速率; h 为高度。

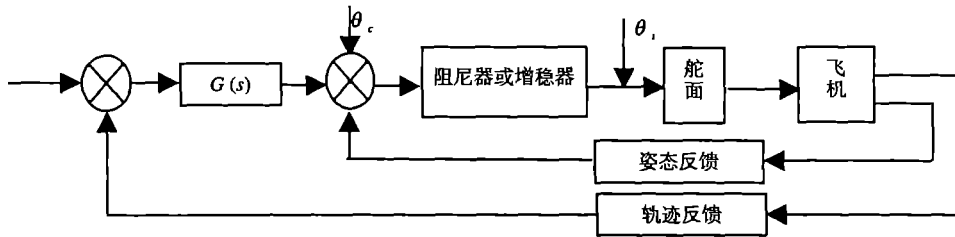


图3 控制结构图

图4是使飞机保持30 m高度平飞的阶跃信号动态响应曲线。从仿真曲线可看出,上升时间为0.676 4 s,超调量为28.3%,阶跃输入 $h_c = 30$ m。3 s后飞机保持30 m的高度飞行。

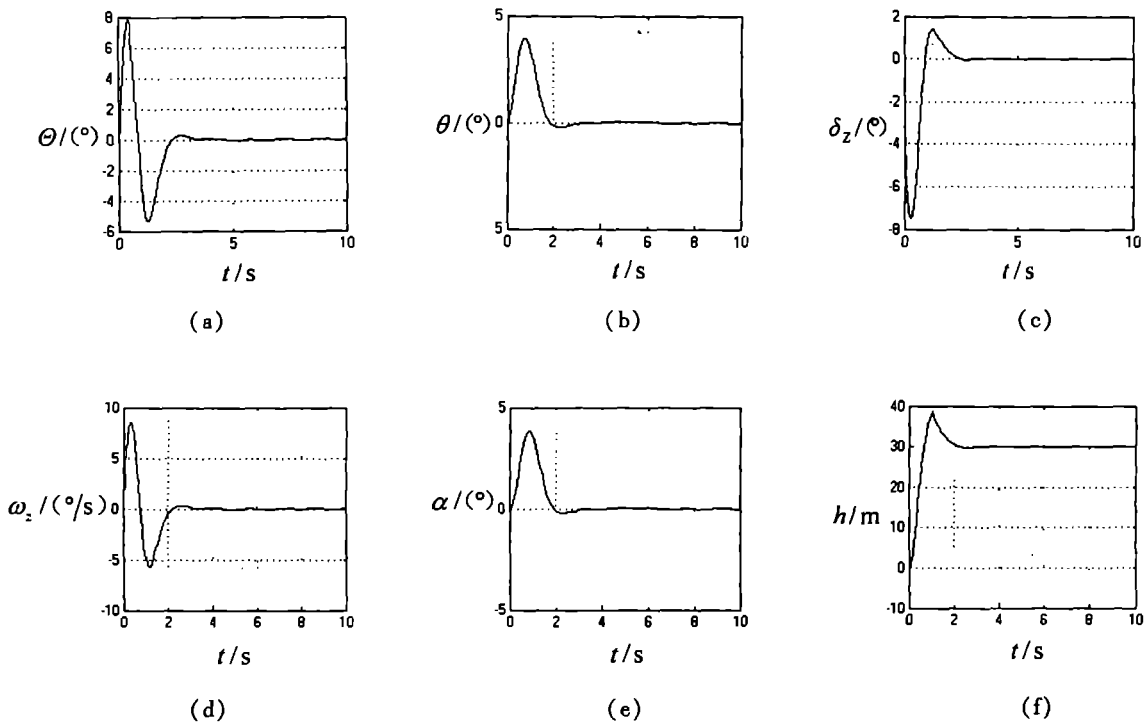


图4 常规控制仿真曲线

2.2 危机控制仿真

危机控制目的是使无人机更好地适应外界环境的变化,提高生存能力。主要包括低高度拉起、极限迎角控制、起飞与着陆的控制和其他极限状态控制等模态。以低高度拉起为例,将相关参数代入方程,可得图5的阶跃响应曲线。从仿真曲线可以看出,上升时间为1.036 1 s,超调量为2.8%,阶跃输入 $\theta_c = 5^\circ$,10 s后飞行高度 $h = 415.7$ m。

2.3 超常控制仿真

超常控制主要包括姿态角改平、协调转弯和超出地面信号控制区的控制等模态。它所采用的系统模型参数更准确,比常规控制更复杂,超常控制目的是有效避开敌方的攻击,并实现对敌方最有利的攻击。

无人机平台要实时接收地面指挥中心、雷达和其它作战单元发送的信息,并结合自身传感器的实际情况,分别由常规、超常和危机控制器解算出相应的控制信号,由状态选择器依据专家规则确定所应采取的控制措施,从而控制无人机飞行。

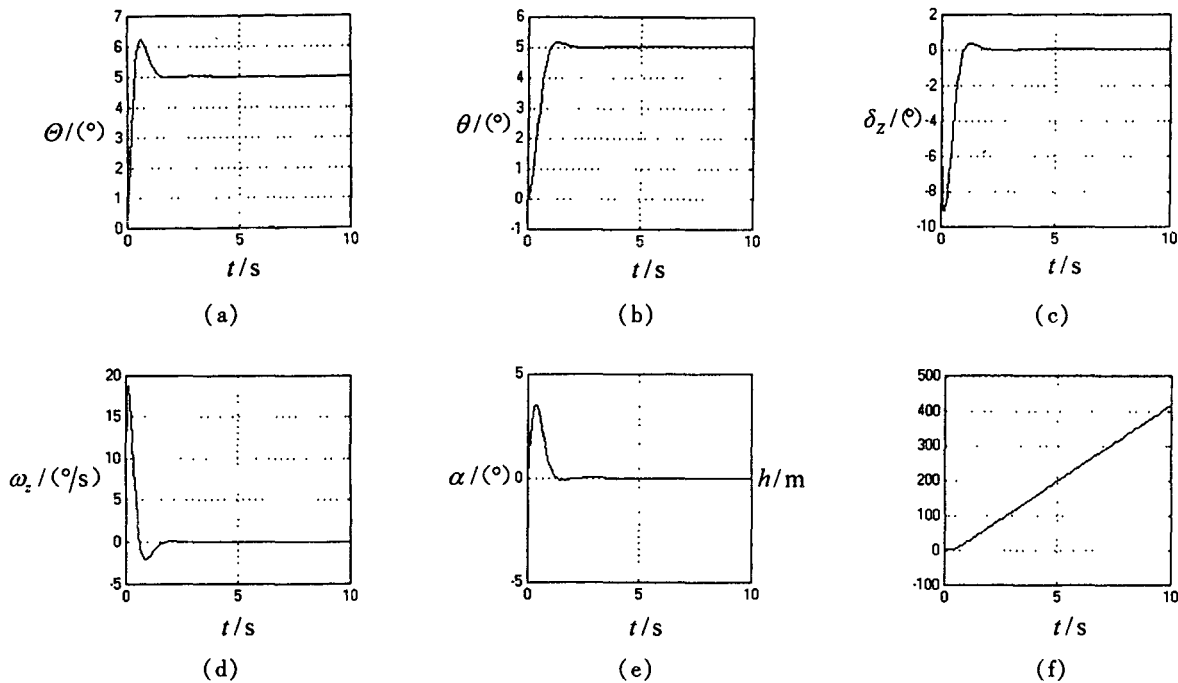


图5 危机控制仿真曲线

3 结束语

本文提出了一种用于无人机飞行控制的三段组合控制策略,该策略的主要优点是应用范围宽,组合设计的控制系统有较强的鲁棒性,能适应被控对象环境条件的剧烈变化。仿真结果表明,该控制策略合理可行。

参考文献:

- [1] 鲁道夫·布罗克豪斯.飞行控制[M]. 金长江. 北京:国防工业出版社,1999.
- [2] 周东华.非线性系统的自适应导论[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [3] 申安玉,申学人,李云保.自动飞行控制系统[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [4] 李仁厚.智能控制理论和方法[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [5] 席庆彪,袁冬莉,张洪才.基于自主飞行的小型无人机动力自适应模糊控制[J].空军工程大学学报(自然科学版)2001, 2(4):12-15.

(编辑:姚树峰)

UAV Flight Control Based on Three Section Combination Control Tactics

LIANG Cheng-shun, XIE Jun

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: According to UAV flight control character, this paper presents a new three section combination control tactics. The control tactics include conventional control based on the design of linear control system, super-conventional control based on fuzzy measurement inference and hazard control based on critical criterion. The centre of process unit in UAV receives the signals of informative sources such as radar, sensors and so on, figures out, processes and produces the evaluation signal. According to it, the status selector selects the right control signal and controls the terrace of UAV.

Key words: flight control; UAV; three section combination