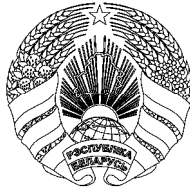


**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **23106**

(13) **С1**

(46) **2020.08.30**

(51) МПК

**G 05D 1/00** (2006.01)

(54) **СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ**

(21) Номер заявки: а 20180496

(22) 2018.11.30

(43) 2020.06.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Шумский Андрей Николаевич; Карпович Дмитрий Семенович; Кулага Виталий Валерьевич; Клютко Михаил Викторович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (ВУ)

(56) RU 2562890 С2, 2014.

RU 2390815 С1, 2010.

UA 10978 U, 2006.

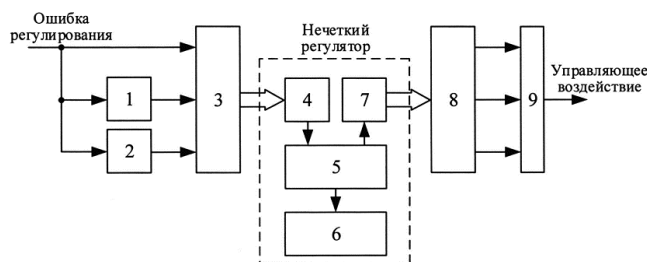
КАРПОВИЧ Д.С. и др. Труды БГТУ, 2016, № 6, с. 110-115.

БУРАКОВ М.В. и др. Вестник технологического университета, 2015, т. 18, № 4, с. 242-244.

US 2008/0033604 А1, 2008.

(57)

Способ управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), при котором по полученным в процессе полета БПЛА динамическим характеристикам для технологических параметров осуществляют процедуру идентификации математической модели БПЛА по соответствующим технологическим параметрам для заданных каналов управления, при этом в качестве технологических параметров используют значения крена, тангажа, высоты, курса и скорости; полученные математические модели проверяют на робастную устойчивость путем составления полиномов Харитонова; затем исходя из условия обеспечения предварительно заданной степени затухания осуществляют синтез системы автоматического управления (САУ) БПЛА, содержащей пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) нечеткий регулятор; далее осуществляют процедуру фаззификации, затем с использованием возможностей нечеткого вывода составляют базу знаний ПИД нечеткого регулятора, осуществляют процедуру дефаззификации и получают выходной сигнал для подачи его на САУ.



Фиг. 1

ВУ 23106 С1 2020.08.30

Изобретение относится к системам автоматического управления полетом беспилотного летательного аппарата самолетного типа.

Безопасное и эффективное применение беспилотных летательных аппаратов связано с функционированием систем автоматического управления. Для эффективной работы системы автоматического управления важно обеспечить своевременность управляющих сигналов на органы управления беспилотного летательного аппарата, которые зависят от логики управления, от летных характеристик беспилотного летательного аппарата, от характеристик датчиков и исполнительных механизмов, установленных в беспилотном летательном аппарате. Качество управления определяется параметрами соответствующих законов управления. Наиболее известными подходами к настройке параметров в законах управления являются: проведение натурального эксперимента и имитационное моделирование. Каждый из этих подходов обладает своими преимуществами и недостатками.

Основными преимуществами при использовании имитационного моделирования являются быстрота и минимальные затраты на нахождение "рабочего" набора параметров в законах управления, а также снижение рисков аварии беспилотного летательного аппарата в его первых полетах.

Наиболее близкими к предлагаемому изобретению по технической сущности являются способ формирования сигнала управления угловым движением беспилотного летательного аппарата и устройство для его осуществления [1], основная идея которого заключается в том, что выделяют сигналы модульных функций сигнала рассогласования и заданного сигнала управления, формируют разность сигналов модульных функций сигнала рассогласования и заданного сигнала управления при превышении указанной разности зоны нечувствительности, масштабируют разностный сигнал, формируют дополнительную компоненту сигнала рассогласования дополнительным усилением при положительной полярности масштабированного разностного сигнала, полученную дополнительную компоненту вычитают из усиленного сигнала рассогласования и формируют реверсивное исключение дополнительной компоненты при отрицательной полярности масштабированного разностного сигнала, при этом коэффициент масштабирования  $K_m = 1,1-1,4$ , а коэффициент дополнительного усиления  $K_1 = (0,5-0,8)K_1$ , где  $K_1$  - коэффициент усиления сигнала рассогласования [1]. Данный способ обладает существенными недостатками, вызванными наличием сложных технических и математических процедур и действий для поиска и определения параметров системы управления, для обеспечения заданного качества регулирования.

Задача изобретения - расширение функциональных возможностей системы управления беспилотным летательным аппаратом самолетного типа за счет получения настроек для законов управления по заданным технологическим параметрам с целью получения качественных переходных процессов.

Поставленная задача решается способом управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), при котором по полученным в процессе полета БПЛА динамическим характеристикам для технологических параметров осуществляют процедуру идентификации математической модели БПЛА по соответствующим технологическим параметрам для заданных каналов управления, при этом в качестве технологических параметров используют значения крена, тангажа, высоты, курса и скорости; полученные математические модели проверяют на робастную устойчивость путем составления полиномов Харитонова; затем исходя из условия обеспечения предварительно заданной степени затухания осуществляют синтез системы автоматического управления (САУ) БПЛА, содержащей пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) нечеткий регулятор; далее осуществляют процедуру фазификации, затем с использованием возможностей нечеткого вывода составляют базу знаний ПИД нечеткого регулятора, осуществляют процедуру дефазификации и получают выходной сигнал для подачи его на САУ.

Применение нечеткого логического вывода позволяет использовать для управления информацию качественного характера, которую невозможно формализовать при реализации традиционных законов регулирования. При этом нечеткое регулирование оказывается малочувствительным к возмущениям в определенном диапазоне и демонстрирует лучшие характеристики по сравнению с классическими регуляторами. Однако необходимо учитывать, что при проектировании системы управления беспилотным летательным аппаратом с особой тщательностью необходимо подходить к выбору методик экспертного опроса и формированию базы правил для нечеткого логического вывода [2].

Изобретение иллюстрируется фигурами:

фиг. 1 - структурная схема части системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом с применением теории нечетких множеств;

фиг. 2 - поверхности нечеткого вывода ПИД нечеткого регулятора.

На фиг. 1 показана структурная схема части системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом с применением теории нечетких множеств, включающая следующие основные элементы: интегрирующее звено 1, дифференцирующее звено 2, мультиплексор (объединение входных сигналов в вектор) 3, блок фаззификации 4, блок нечеткого вывода 5, блок базы правил нечетких продукций (основанный на желаемом состоянии объекта управления) 6, блок дефаззификации 7, демультиплексор (разделение входного векторного сигнала на отдельные составляющие) 8 и сумматор 9.

На фиг. 2 показаны поверхности нечеткого вывода ПИД нечеткого регулятора. Критерием оптимальности выбора поверхностей нечеткого вывода является минимизация ошибки регулирования на основании имитационного моделирования.

В процессе полета беспилотного летательного аппарата получают динамические характеристики для основных технологических параметров (крен, тангаж, высота, курс, скорость). По динамическим характеристикам для технологических параметров осуществляют процедуру идентификации для получения математической модели объекта управления по соответствующим технологическим параметрам для заданных каналов управления. Полученные математические модели объекта управления проверяется на робастную устойчивость, т.е. малое изменение выхода системы управления при малом изменении параметров объекта управления, а именно составляются полиномы Харитонова [3]. Следующим шагом является синтез системы автоматического управления исходя из условия обеспечения предварительно заданной степени затухания, содержащей пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) нечеткий регулятор [4]. В соответствие с выбранным технологическим параметром и заданным каналом управления определяется количество входных сигналов. Далее осуществляют процедуру фаззификации, а именно в соответствие входным сигналам составляются функции принадлежности для терм-множеств лингвистических переменных, т.е. присваиваются определенные входные значения [5]. Следующий шаг, с использованием возможностей нечеткого вывода составляют базу знаний, в которой в соответствие определенной комбинации входных значений присваиваются выходные [6]. Последующий этап - дефаззификация, а именно получение выходного сигнала для подачи его на систему автоматического управления, для осуществления регулирования. Таким образом, для каждого технологического параметра в соответствии с каналом управления имеется поверхность нечеткого вывода [7].

Таким образом, предложенная система автоматического управления беспилотным летательным аппаратом с использованием ПИД нечеткого регулятора показывает лучшие результаты по сравнению с классическими системами управления с ПИД-регуляторами, а именно обеспечивает заданное качество переходных процессов по заданным каналам управления.

Изобретение может быть применено в системах автоматического управления полетом беспилотного летательного аппарата самолетного типа.

## Источники информации:

1. Патент 2532719 (РФ) Способ формирования сигнала управления угловым движением беспилотного летательного аппарата и устройство для его осуществления, А.С. Сыров, А.М. Пучков, А.С. Соловьев. - 2014 (прототип).

2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

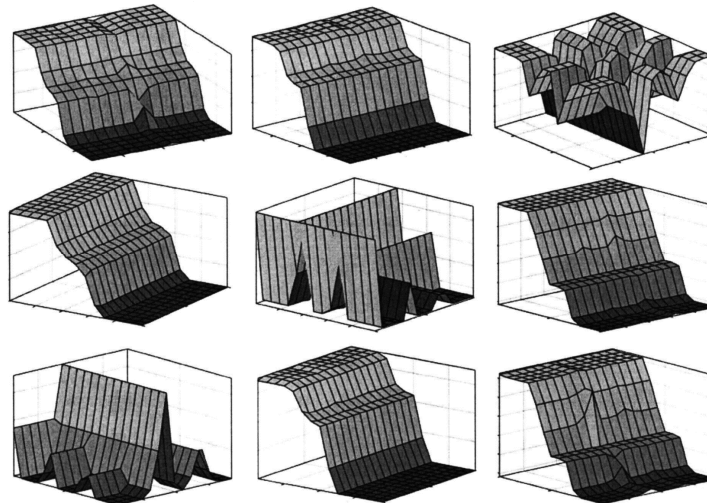
3. Ким Д.П., Дмитриева Н.Д. Сборник задач по теории автоматического управления. Линейные системы. М: Физматлит, 2007. 168 с.

4. Кузьмицкий И.Ф. Теория автоматического управления / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. - Минск: БГТУ, 2010. - 574 с.

5. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

6. Ярушина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем / Н.Г.Ярушина. - М.: Экономика и финансы, 2004. - 320 с.

7. Sivanandam, S.N. Introduction to fuzzy logic using MATLAB / S.N. Sivanandam, S. Sumathi and S.N. Deepa, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. - p. 430.



Фиг. 2